



# Méthodologies de conception de systèmes dans le médical : prise en compte des spécificités utilisateurs

Guillaume Thomann

## ► To cite this version:

Guillaume Thomann. Méthodologies de conception de systèmes dans le médical : prise en compte des spécificités utilisateurs. Génie mécanique [physics.class-ph]. Communauté Université Grenoble Alpes, 2016. tel-01370093

**HAL Id: tel-01370093**

**<https://hal.science/tel-01370093>**

Submitted on 21 Sep 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Habilitation à Diriger des Recherches

Présentée par

**Guillaume THOMANN**

Institut polytechnique de Grenoble

Spécialité : Mécanique

---

Méthodologies de conception de systèmes dans le médical :  
prise en compte des spécificités utilisateurs

---

Date de soutenance : 1<sup>er</sup> juin 2016

## Composition du Jury

Samuel GOMES	Professeur des Universités	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard	Rapporteur
Yohan PAYAN	Directeur de Recherche CNRS	Laboratoire TIMC-IMAG, Grenoble	Rapporteur
Jean-François PETIOT	Professeur des Universités	Ecole Centrale de Nantes	Rapporteur
Dominic PERENNOU	Professeur des Universités Praticien Hospitalier	CHRU de Grenoble, Université Grenoble Alpes	Examineur
Wilson KINDLEIN Júnior	Professeur Titulaire	Universidade Fédéral do Rio Grande do Sul – BRASIL	Examineur
François VILLENEUVE	Professeur des Universités	Université Grenoble Alpes	Examineur
Bernard YANNOU	Professeur des Universités	Ecole Centrale de Paris	Examineur Président du jury

Mémoire préparé au sein du

Laboratoire des Sciences pour la Conception l'Optimisation et la  
Production de Grenoble



## Avant-propos

Ce mémoire décrit l'ensemble de mes activités d'enseignant-chercheur réalisées d'une part au sein de l'Institut polytechnique de Grenoble et d'autre part au Laboratoire Sols Solides Structures puis au Laboratoire des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et le Production de Grenoble entre (G-SCOP) entre 2005 et 2016.

La première partie présente succinctement mon Curriculum Vitae.

La seconde partie intitulée «travaux et expériences» dresse en quelques pages un bilan de l'ensemble de mes travaux d'enseignement et de recherche, d'implication dans des activités collectives et mon rayonnement local, national et international.

Mes activités de recherche sont décrites plus en détails dans la troisième partie. Une première section donne des idées de quelques concepts théoriques mobilisés sur les méthodologies de conception. Je propose ensuite une progression de mes activités en montrant systématiquement mes motivations et les raisons pour lesquelles impliquer davantage les utilisateurs et leurs spécificités lors des développements des systèmes. Plusieurs expérimentations sur le terrain sont donc effectuées et de nombreux systèmes sont conçus et fabriqués.

Mes perspectives de recherche sont proposées dans la quatrième partie. Je les classe en trois catégories. Les deux premières concernent mes motivations à continuer à travailler avec les utilisateurs, qu'ils soient en situation de handicap ou experts de leur domaine. Revendiquant une expertise avec chacun de ses publics, mes interrogations se posent ici sur les outils et méthodes de conception dédiées ou non à ces deux catégories d'utilisateurs. Ces réflexions m'amèneront à améliorer mes propositions de modélisations de processus de développement de matériel médical en intégrant notamment les aspects d'industrialisation et de conception modulaire. Enfin, mes relations de recherche avec des universités brésiliennes me motivent particulièrement pour proposer des perspectives à l'international sur ces thématiques : projets interdisciplinaires et multiculturels pour le développement de systèmes dans le domaine de la santé.

La cinquième partie résume en trois pages les activités de recherche passées et les perspectives.

Dans la sixième partie, la liste complète de mes publications et brevets est présentée. La Liste des encadrements effectués ou en cours est donnée en septième partie : doctorants, post-doctorants, et étudiants de master.



## Remerciements

Je souhaite adresser de chaleureux remerciements à Monsieur Bernard YANNOU, Professeur des Universités à l'Ecole Centrale de Paris, d'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse. Je tiens à le remercier principalement pour la prise de recul dont il a su me faire bénéficier lors de son intervention.

Je souhaite adresser mes remerciements à Messieurs Samuel GOMES, Professeur des Universités à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Yohan PAYAN, Directeur de Recherche CNRS au laboratoire TIMC-IMAG de Grenoble et Jean-François PETIOT, Professeurs des Universités à l'Ecole Centrale de Nantes pour avoir accepté d'être rapporteurs du présent mémoire et pour leur participation au jury. Leurs remarques et questions pertinentes m'ont été très précieuses, notamment autour des concepts fondateurs de l'«ergonomie à la française», autour des opportunités de valorisation de travaux de conception ou encore en insistant sur le cadre théorique de mes recherches dans le corpus des sciences de la conception.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à Messieurs Wilson KINDLEIN Júnior, Professeur titulaire à l'Universidade Fédéral do Rio Grande do Sul – BRASIL et à Dominic PERENNOU, Professeur des Universités et Praticien Hospitalier au Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble pour avoir accepté d'être examinateurs de mon mémoire et pour leur participation au jury. Les échanges ont été constructifs et très encourageant pour moi. Ils permettent de positionner mes activités de recherche plus clairement par rapport à des pratiques médicales toujours en mouvance et ils confirment également les avantages évidents des collaborations internationales et interdisciplinaires.

Vous avez tous les six relevé des points prépondérants que j'ai essayé (et réussi !) de mettre en avant dans ce mémoire et j'en suis très touché : l'interdisciplinarité techno-santé autour de l'humain, mes efforts pour tisser des liens entre enseignements – recherche – responsabilités administratives, mes implications sur le terrain avec les acteurs professionnels de santé et les utilisateurs finaux des produits.

Je souhaite adresser mes plus profonds remerciements à François VILLENEUVE, Professeur des Universités et Directeur du Laboratoire G-SCOP pour avoir réussi à me supporter depuis mon arrivée à Grenoble en 2005. Il a su m'accompagner et me conseiller dans mes choix d'orientation de recherche et faire en sorte que les résultats soient toujours valorisés. Nos co-encadrements m'ont été très bénéfiques, j'espère qu'il n'en a pas trop souffert de son côté ;-). Merci François pour l'ambiance très agréable et motivante et pour la confiance que tu as mise en moi.

J'adresse mes reconnaissances à Romain FAREL, Cécile MAGNIER, Julien VEYTIPOU, Marcel De GOIS PINTO, Vania Dos REIS MIRANDA et Justine COTON (ex- et thésards actuels) d'avoir été les co-contributeurs principaux des contenus scientifiques et technologiques présentés dans ce rapport. Vous avez tous été et êtes encore, chacun à votre manière, sources de réflexions lors des nombreuses heures passées ensemble au laboratoire et sur le terrain. Nos prises de têtes ont souvent été constructives. Je ne les citerai pas, mais il en est de même pour tous les étudiants de Licence, Master et autres élèves-ingénieurs avec qui les échanges et résultats de travaux ont souvent été sources de bonheur et de découvertes pour les enfants en situation de handicap. Dans ce contexte, je tiens à remercier particulièrement Jacques, Emilie, Alain, Laetitia, Peggy, Guy et tous les autres pour l'aventure AE2M passée, actuelle et future.

A tous mes collègues administratifs, enseignants et chercheurs des laboratoires 3S et G-SCOP, de Grenoble INP, de l'Université Grenoble Alpes et assimilés. Vous avez, vous aussi, contribué pleinement à cette étape de ma carrière professionnelle. Le point commun principal que je tiens à mettre en avant est la joie de vous retrouver en réunions, jurys, pots ... toujours (presque) dans des ambiances studieuses mais décontractées et donc motivantes.

La mission handicap de Grenoble INP et toute l'équipe associée tient une grande part de mon estime, de ma reconnaissance ... et de mon temps. Merci Jocelyne pour les nombreux moments de travail motivant passés dans ton bureau à trouver des moyens pour bouger nos collègues sur les thématiques du handicap !

A mes collègues et amis brésiliens, trop nombreux à citer ! Que nos amitiés actuelles débouchent sur des réussites de projets de collaborations internationales ainsi que sur des tournées de caipirinhas sur les plus belles plages du Brésil. Je suis toujours heureux de passer vous voir de temps en temps ;-).

A ma femme pour tout ce que vous pouvez imaginer ... et plus encore ! Et à ma famille avec qui je suis toujours content de partager mes aventures.

## Tables des Matières

Avant-propos.....	3
Remerciements .....	5
Liste des tableaux.....	10
Liste des figures.....	11
Introduction .....	15
I. Curriculum Vitae .....	18
1. Etat civil .....	18
2. Expériences professionnelles .....	18
3. Formation .....	18
II. Synthèse : enseignement, recherche, activités collectives et rayonnement .....	21
1. Mes activités d’enseignements et travaux auprès des étudiants .....	21
a. Contenu et évolution des activités.....	21
b. Bilan quantitatif.....	25
2. Mes activités de recherche actuelles .....	28
a. Thématique DESTIN.....	28
b. Thématique CARACTH-ASMUSE .....	29
c. INNOServ .....	33
d. Bilan qualitatif .....	34
e. Bilan quantitatif.....	35
3. Activités Collectives.....	36
a. Activités contractuelles .....	36
b. Implications dans la vie scientifique et responsabilités collectives .....	38
Pendant mon doctorat .....	39
En tant qu’enseignant-chercheur.....	39
c. Mes implications dans l’association AE2M .....	41
d. La mission handicap de Grenoble INP .....	42
4. Rayonnements.....	44
a. Rayonnement local.....	44
b. Rayonnement national .....	45
c. Rayonnement international .....	45

l'UNESP .....	46
l'UFPB .....	47
5. Conclusion .....	49
III. Mes recherches.....	51
1. Etat de l'art .....	52
a. Les concepts inspirant mes recherches.....	52
User Centered Design.....	52
Participatory design (PD).....	55
Action Research.....	56
Scenario Based Design (SBD).....	57
b. Autres approches de conception spécifiques dans le domaine médical et handicap ..	59
Courants universalistes .....	59
Courants spécialisés .....	62
c. Conclusion .....	63
2. Conception pour le praticien hospitalier .....	65
a. Contexte (gastroentérologie) et problématique .....	65
b. Conception et modélisation .....	65
c. Conclusion .....	66
3. Conception avec l'implication des utilisateurs.....	67
a. Contexte (amputés membre supérieur) et problématique .....	67
b. Conception du produit et relations utilisateur et médecin.....	69
c. Conclusion .....	73
4. DESTIN : Expertises en conception pour la chirurgie .....	74
a. Contexte (arthrodèse lombaire) et problématique.....	74
b. Prototypes, scénario d'usage et émulation.....	76
Prototypes d'outils chirurgicaux et de mannequins .....	76
Emulations.....	77
Scénarios étendus .....	77
Outil d'analyse : bagage pour comprendre et intégrer l'expert .....	79
c. Quel rôle pour l'utilisateur expert ? .....	80
d. Processus co-évolutif produit et usage .....	83
e. Retour haptique, réalité virtuelle (RV) et outils d'interaction .....	85
Construction de l'environnement virtuel.....	87



L'interface homme machine .....	88
Validation du modèle proposé.....	88
f. Conclusion .....	90
5. CARACTH-AMUSE : Art, Sciences et Handicap .....	90
a. Les spécificités de la conception avec les enfants en situation de handicap (ESH) .....	91
b. Kinect pour détecter les utilisateurs en fauteuils électriques.....	93
c. Analyse du mouvement comme aide à la conception .....	97
d. Analyse de la neuro-motricité avec enfants IMC .....	99
e. Pour une meilleure intégration des spécificités motrices des PSH .....	101
f. Produire des solutions pour la pratique musicale.....	104
La Mailloche Electro Mécanique (MEM2) .....	104
Tambour Sauterelle .....	106
Joystick sans fil (JSF) .....	106
Le Portique Plateau Orthèse (PPO) .....	107
La Pince Piézo Musicale (PPM).....	108
La Kinect Musicale (KIM) .....	109
g. Conclusion .....	110
IV. Mes perspectives de recherche.....	111
1. Centré sur l'utilisateur en situation de handicap .....	111
a. Projets musicaux en cours de développement .....	111
Maintien pour accordéonistes professionnels.....	111
Support pour hautbois .....	113
Interface Kinect personnalisable.....	113
b. Orthèse de bras pour le réapprentissage de la préhension .....	114
c. Amélioration des processus de conception associés .....	116
Points communs des projets .....	116
Pistes de réflexions.....	117
Industrialisation.....	117
Vers un modèle de conception modulaire.....	118
2. Outils et technologies pour les praticiens hospitaliers .....	119
a. Outils pour l'évaluation des fonctions motrices .....	119
Eléments de contexte.....	119
Développement du projet.....	120

MKv1 pour l'analyse des fonctions motrice pour les ASI : résultats préliminaires.....	122
b. Plates-formes de force .....	125
3. Projets interdisciplinaires à l'international .....	129
4. Conclusion .....	131
V. Synthèse des activités de recherche passées et les perspectives .....	133
VI. Publications personnelles.....	137
1. Articles soumis dans des revues Internationales à comité de lecture : 2 .....	137
2. Articles publiés dans des revues Internationales à comité de Lecture (AI) : 9.....	137
3. Article publié dans des revues Nationales à comité de Lecture (AN) : 1 .....	138
4. Brevets (BR) : 2 .....	138
5. Chapitres d'Ouvrage (OU) : 2 .....	138
6. Communications dans des congrès Internationaux à comité de Lecture (CI) : 41.....	138
7. Communications dans des congrès Nationaux à Comité de Lecture (CN) : 20 .....	142
8. Conférence invitée : 1 .....	143
9. Autres Communications (AC) : 18 .....	143
VII. Encadrements effectués ou en cours .....	145
1. Co-encadrements de thèses de doctorat : 6 .....	145
2. Encadrements de Post-doctorants : 2 .....	145
3. Encadrements de Master 2 Recherche ou assimilés : 20.....	146
a. Master Recherche : 18 (dont 2 en cours) .....	146
b. Master Professionnel et stages de PFE en laboratoire : 2.....	148
VIII. Bibliographie .....	149
Annexe 1 - CV court.....	154
Annexe 2 – Activité pédagogique CRR – Grenoble INP .....	156

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre d'étudiants encadrés par an sur les projets spécifiques « musique et handicap » .....	23
Tableau 2. Résumé des enseignements effectués depuis mon doctorat .....	27
Tableau 3. Activités donnant lieu à des décharges ou reconnaissances d'activités pédagogiques .....	27
Tableau 4. Activités de recherche effectuées au Brésil en 2003-2014 .....	27
Tableau 5. Publications et articles scientifiques .....	35
Tableau 6. Conférences et communications orales .....	36
Tableau 7. Projets déposés et financements acceptés depuis 2005 .....	37
Tableau 8. Projets déposés et non acceptés depuis 2005 .....	38
Tableau 9. Récapitulatif des séjours au Brésil dans le cadre des relations établies avec nos partenaires .....	49
Tableau 10. Les 7 principes de la conception universelle .....	60
Tableau 11. Les 7 sept principes de l'ABD.....	62
Tableau 12. Caractéristiques physiques de la prothèse de Tech.Innovation.....	70
Tableau 13. Résumé des émulations réalisées avec les chirurgiens en salle d'opération.....	78
Tableau 14. Essais de passage de la tige dans les têtes de vis en environnement virtuel.....	89
Tableau 15. Résultats de l'analyse de contenu des dix-sept rapports répertoriés.....	92
Tableau 16. Temps de réaction des différentes positions .....	99
Tableau 17. Quelques différences fondamentales entre sportif de haut niveau et musicien professionnel.....	112
Tableau 18. Liste des items sélectionnés pour l'étude .....	122
Tableau 19. Résultats des différentes situations expérimentales pour l'évaluation de l'équilibre postural .....	126

*Liste des figures*

Figure 1. Triangle de compétences proposé par les acteurs de l'association AE2M .....	41
Figure 2. Le processus de conception centrée utilisateur [ISO, 2010].....	52
Figure 3. Niveau d'implication de l'utilisateur dans le processus de conception.....	55
Figure 4. Diagramme illustrant la méthodologie Action Research .....	57
Figure 5. Challenges et approches du SBD [Carroll, 2000].....	59
Figure 6. Représentation des méthodologies et approches de recherche mobilisées.....	64
Figure 7. Tête de coloscope présentant les deux étages et les plates-formes de connexion des soufflets métalliques .....	66
Figure 8. Premier prototype de l'EDORA en fonctionnement .....	66
Figures 9. Inspection tubulaire de la tête de coloscope EDORA-01.....	67
Figures 10. Corps et coude de la prothèse – CAO et prototypage rapide .....	69
Figure 11. Photo de la prothèse de bras .....	70
Figure 12: Patient équipé de la prothèse de Tech.Innovation.....	70
Figure 13. Sélection du moteur à partir d'une contraction forte du biceps. ....	70
Figure 14. Sélection du moteur à partir d'une contraction forte du triceps. ....	70
Figure 15. Diagramme de fonctionnement de la prothèse en fonction de l'activité musculaire .	71
Figure 16. Stimuli possibles dus à la contraction d'un muscle et à la manière dont on peut déterminer qu'ils sont à considérer comme des stimuli forts ou des stimuli faibles (avec les seuils et les pentes de référence). ....	71
Figures 17. Réglage des paramètres dédiés à la détection des signaux forts et faibles avec le logiciel Titech.....	72
Figure 18. Interface d'acquisition des signaux émis par l'utilisateur après traitement.....	73
Figure 19. Ancillaire mis en place sur la colonne vertébrale du patient lors de l'opération d'arthrodèse lombaire.....	74
Figures 20. Image radio, schéma et photo de l'ancillaire mis en place sur la colonne vertébrale du patient pour une opération d'arthrodèse lombaire.....	75
Figures 21. Dessin de la situation de l'intervention chirurgicale souhaitée et de ses conséquences post-opératoires.....	75
Figures 22. Images CAO de trois propositions d'instrument chirurgical pour l'arthrodèse lombaire .....	76
Figures 23. Trois situations expérimentales avec différentes conceptions de mannequins. ....	77
Figure 24. Exemple de scénario étendu proposé pour le bon déroulement d'une émulation ....	78
Figure 25. Configuration des catégories et sous-catégorie avec l'outil The Observer XT® .....	80

Figure 26. Répartition des types d'interactions de conception dans les deux réunions d'évaluation, (a) réunion1, évaluation de la conception entre ingénieurs ; (b) réunion2, l'évaluation avec l'utilisateur (chirurgien) .....	81
Figure 27. Comparatif du contenu des discussions entre les participants des réunions 1 et 2. Critères usage-technique contenu dans les six critères spécifiques .....	82
Figure 28. Interface de l'outil Annot'Action suite à l'utilisation de manière asynchrone par tous les concepteurs du projet.....	82
Figure 29. Evolution des statuts des décisions prises dans la réunion 1, durant la réunion d'évaluation avec l'utilisateur .....	83
Figure 30. Evolution du prototype et du scénario lors de la conception de l'instrument Protige	84
Figure 31. Etape d'émulation dans le processus de conception co-évolutif .....	84
Figure 32. Modèle de processus de conception co-évolutif pour des instruments chirurgicaux.	85
Figures 33. Deux méthodes de reconstruction de la colonne vertébrale. (a) nuage de points obtenus par scanner 3D ; (b) reconstruction volumique à partir d'un scanner tomodensitométrie .....	87
Figures 34. (a) Colonne vertébrale instrumentée avec six vis pédiculaires et les canons de passage correspondants; (b) reconstruction de l'espace opératoire ainsi que de trois versions de l'instrument chirurgical Protige .....	88
Figure 35. Version définitive des modèles du patient et de la colonne intégrant les dernières recommandations du chirurgien .....	88
Figures 36. (a) Utilisateur manipulant l'interface commerciale ; (b) interface créée en technologie Z-Printer.....	89
Figures 37. (a) Protige fixé avec une pièce en aluminium (b) Protige fixée par l'intermédiaire d'une pièce créée en Z-Builder.....	89
Figure 38. La Kinect de Microsoft. Les composants de la Kinect (en haut). Le fonctionnement du capteur (en bas).....	94
Figure 39. Les points du squelette récupérés par la Kinect de Microsoft.....	94
Figure 40. Organisation de protocole expérimental avec les limites de profondeur, les différentes positions de départ des sièges pour chaque expérience et les dispositifs de configuration.....	95
Figures 41. Résultats de la position de détection de l'utilisateur en fonction du fauteuil roulant manuel (à gauche) et électrique (droite). .....	95
Figure 42. Profondeur de détection en fonction des volumes des FRM et FRE (seconde expérience) .....	96
Figure 43. Position horizontale de détection en fonction des volumes des FRM et FRE (seconde expérience) .....	96
Figure 44. Configuration de la salle d'expérimentation avec le système ZEBRIS CMS10 .....	98
Figure 45. Evolution de la vitesse de la main de l'utilisateur en fonction du temps .....	98

Figure 46. Temps de réaction pour chaque position de bouton.....	99
Figure 47. Situation expérimentale pour l'expérience d'anticipation coïncidence (condition 2) .....	101
Figure 48. Erreur moyenne (A) et variabilité (B) de l'estimation temporelle et de la déviation standard en ms, pour les trois groupes et dans les deux conditions de réponse d'anticipation coïncidence.....	101
Figure 49. Le modèle IPP : Individu – Produit – Participation.....	102
Figure 50. Positionnement de la caractérisation des spécificités motrices et du modèle IPP à l'intérieur du cycle CCU .....	103
Figure 51. Processus de conception CARACTH .....	104
Figures 52. Exemple de quatre technologies de prototypages rapides mobilisés pour le projet MEM2 .....	105
Figures 53. Tambour Sauterelle de l'association AE2M : en exposition et en utilisation.....	106
Figures 54. (a) Le joystick avec pommeau personnalisé, (b) le système LSF complet et (c) le banc d'essai avec une mailloche sur un tambour .....	107
Figures 55. (a) Le PPO, (b) PPO en utilisation sans le plateau, (c) PPO plié prêt à être rangé ....	108
Figures 56. (a) PPM reliée aux mailloches d'un métallophone (b) PPM fixée sur la roue d'un fauteuil manuel .....	109
Figures 57. (a) Kinect installée avec le système mailloches de métallophone, (b) enfant en fauteuil utilisant la Kinect avec sa tête .....	109
Figures 58. (a) Le modèle utilisateur avec les zones sur-sollicitées, (b) interface utilisateur générée et ajustée après évaluation .....	114
Figure 59. (ci-dessus). Prototype réalisé en imprimante 3D.....	115
Figure 60. (ci-contre). Emmanuelle utilisant le prototype pour ramasser le balle de tennis .....	115
Figure 61. Processus de développement de l'outil Kinect-MFM .....	121
Figure 62. Représentation de la procédure expérimentale .....	123
Figure 63. Représentation de la position verticale des mains par rapport à la tête pour la cotation 2 .....	124
Figures 64. Corrélation parfaite du score thérapeute et score Kinect pour 3 sujets volontaires	124
Figures 65. (a) Modèle de la plate-forme de force et (b) plate-forme de force développée au laboratoire G-SCOP.....	125
Figure 66. Oscillation du CMT donné via la Kinect de Microsoft .....	127
Figures 67. Oscillation moyenne AP et ML du centre de masse total, condition yeux ouverts..	127



## Introduction

Ce mémoire de recherche a pour objectif de faire le point sur mon travail de recherche et mes autres activités professionnelles depuis mes premiers pas dans le milieu universitaire en 2000. Il permet notamment de découvrir mes orientations et axes développés, opportunités saisies et collaborations établies ou en cours de développement. La rédaction de ce mémoire m'a permis d'effectuer un travail passionnant de bilan non seulement (1) des activités de terrain avec une grande variété de collaborateurs, mais surtout (2) de progression dans mes relations à la recherche vis-à-vis de mes apports théoriques et méthodologiques. Ainsi, tout au long de sa lecture, vous découvrirez une progression chronologique, mais surtout des questionnements et expérimentations pour aller toujours vers une meilleure prise en compte des utilisateurs et de leurs spécificités, dans le processus de conception du produit qui leur est dédié.

Je pense qu'il est important de débiter la lecture de ce document par un résumé du déroulement de ma carrière et des choix et orientations que j'ai faits lors de celle-ci. Cela permettra de fournir des éléments importants pour la compréhension des orientations thématiques abordées lors de mes différentes activités d'enseignement, de recherche, et d'autres responsabilités et activités administratives ou associatives.

Je suis diplômé, promo 2000, de l'Ecole Supérieure des Sciences pour l'Ingénieur de Mulhouse (ESSAIM). En 2006, Les écoles ESSAIM et ENSITM ont été restructurées en l'ENSISA. Lors de ma dernière année de formation d'ingénieur, j'ai eu l'opportunité de réaliser un DEA dans le domaine de la mécanique vibratoire, en spécialité Automatique industrielle, à l'Université de Haute Alsace à Mulhouse. Suite à cette expérience très orientée sur la manipulation expérimentale et l'acquisition de données via le logiciel Matlab, j'ai débuté une thèse de doctorat à l'INSA de Lyon en septembre 2000. Ces trois années de doctorat sont surtout pour moi un premier contact avec le domaine de la santé et de la médecine car mon projet de recherche concernait la réalisation d'un prototype de coloscope instrumenté autoguidé permettant de limiter les contacts et frottements avec les parois intestinales des patients. Ce fut une première étape cruciale dans mon orientation de travail dans le milieu médical. En repensant à mes activités de doctorat, à mon année d'ATER également réalisée à l'INSA de Lyon, et aux conséquences qu'elles ont eues sur mes activités présentes et certainement futures, je pense pouvoir résumer mes préoccupations contextuelles de recherche par les points ci-dessous :

- le domaine du médical, étranger à ma formation initiale, m'a immédiatement passionné et interrogé. Comment les équipes de conception abordent-elles les relations avec les utilisateurs de ce domaine qui ont des profils uniques (connaissances, savoir-faire, capacités physiques, etc.), dont les besoins sont très spécifiques et difficilement formalisables avec les outils standard de conception ?
- des montages de prototypes et de bancs d'expériences. L'objectif étant de proposer un démonstrateur prouvant la pertinence des choix technologiques, de nombreuses manipulations expérimentales ont été réalisées durant mes recherches. Acquisition de données, caractérisation de composants ou encore modélisation de systèmes m'ont permis de progresser dans ces activités et surtout d'en saisir l'importance. Je pense avoir commencé à comprendre durant mon doctorat, la pertinence des prototypes physiques vis-à-vis des besoins des utilisateurs spécialistes, en l'occurrence chirurgiens gastroentérologue. Mais comment permettre une confrontation efficace du prototype et de son usage pour améliorer



le produit et son utilisation finale ?

- des confrontations interdisciplinaires constantes. J'en suis convaincu maintenant, un travail mono-disciplinaire dans mon domaine de recherche n'est pas fructueux. Mon travail de DEA a été réalisé en collaboration exclusive avec des experts en mécanique vibratoire pour bien comprendre et définir des phénomènes précis. Mon travail de thèse de doctorat a été le point de départ d'une volonté d'ouverture scientifique pour permettre l'aboutissement d'un travail de conception de produit. A l'époque, j'avais confronté divers prototypes à l'expertise de chirurgiens et d'ergonomes dont les points de vue divergeaient totalement. En parallèle, j'avais fait collaborer diverses spécialités d'ingénierie pour aboutir non seulement à la fabrication d'un prototype le plus abouti possible, mais également à sa modélisation la plus fiable possible. Mes questionnements concernent ici l'importance de la complémentarité des collaborateurs et leurs confrontations lors de certaines phases de conception.
- des communications scientifiques régulières et variées. Les communications extérieures au laboratoire de recherche sont essentielles. Non seulement leur préparation, mais également les discussions qu'elles suscitent sont très constructives, font progresser les travaux de recherche mais contribuent également à l'apprentissage de l'action de communiquer. Durant ma thèse, et grâce à la thématique développée, j'ai eu l'occasion de largement diversifier les types de communications, notamment à travers des événements de vulgarisation scientifique. Je pense avoir très largement diffusé mes travaux et ainsi pu remarquer l'importance des supports de communication et du vocabulaire associé pour la diffusion des connaissances et des résultats. C'est pour cela que je considère tous types d'événements d'ouvertures et de divulgations scientifiques comme primordiaux pour la progression des travaux scientifiques et technologiques mais aussi pour l'évolution des regards de la société sur le milieu de la recherche scientifique.

Je considère les éléments ci-dessus comme un socle pour tout travail scientifique et technique entrepris. Dans ce document, nous observerons que mes activités de recherche développées et mes collaborations scientifiques, techniques, artistiques, etc. choisies y feront systématiquement référence.

Même si mes activités de recherche constituaient la majeure partie de mon emploi du temps à l'INSA de Lyon, je tiens à souligner que mes (parfois trop) nombreux investissements associatifs au sein de l'établissement m'ont énormément plu et appris le sens des valeurs et des responsabilités. En trois ans, j'ai été secrétaire, vice-président puis président de l'association des doctorants de l'INSA de Lyon. Durant ma seconde année de doctorat, nous avons regroupé, notamment sous mon impulsion, des associations de doctorants de l'Ecole Centrale de Lyon, l'Université Claude Bernard et de l'Institut de Chimie pour créer l'Initiative Lyonnaise des Associations de Doctorants (ILYAD) dont j'ai été le premier président durant une année. Durant cette période, nous avons organisé de nombreuses manifestations scientifiques (colloques de poster, conférences, etc.) pour tenter de diffuser et partager nos multiples expériences de recherches souvent trop cloisonnées. J'ai aussi présidé le comité d'organisation des Journées des Jeunes chercheurs en Robotique que nous avons organisées à Lyon en septembre 2002.

Après l'année d'ATER effectuée à l'INSA de Lyon, j'ai eu la chance de travailler en tant qu'ATER, durant une période de 6 mois, à l'Université d'Evry Val d'Essonne et au laboratoire des Systèmes Complexes (LSC).

Deux éléments nouveaux découverts durant cette courte période à Evry peuvent être relevés :

- les départements de formation dans lesquels j'ai enseigné à l'IUP m'ont réellement fait évoluer par rapport à mes expériences de l'INSA de Lyon. Les étudiants côtoyés ont réellement besoin de trouver la motivation nécessaire pour venir en cours et suivre avec intérêt les enseignements proposés. Je pense que c'est surtout durant cette période que j'ai pris conscience de l'importance de la communication et de l'implication des étudiants dans la construction des supports à leur formation,
- j'ai pu m'investir pleinement au sein de la société Tech'Innovation, dont le directeur travaillait à ce moment-là sur un contrat de PAST au LSC. Les activités de recherche et de développement consistaient en la conception et la réalisation de prothèses de membre supérieur. J'ai rencontré à cette occasion mes premiers patients amputés grâce qui nous avons pu proposer de nouvelles stratégies de commande des prothèses, des améliorations de conception ou encore des outils de suivi de qualité de manipulation.

Cette expérience de la vie en région parisienne m'a offert l'opportunité de découvrir de nouveaux collègues dans un environnement universitaire très différent. De plus, elle m'a tout à fait conforté quant à ma motivation à travailler dans le domaine de la santé, du développement de mécanismes adaptés à des situations et pour des besoins spécifiques. Les phases de confrontations des prototypes aux experts et utilisateurs demandeurs furent aussi des expériences inoubliables. Ces activités seront présentées dans la troisième partie du document.

J'ai ensuite été recruté en tant de Maître de Conférences en février 2005 sur un poste intitulé *Sauvons la Recherche*. J'ai donc commencé à travailler au sein de l'Institut National Polytechnique de Grenoble et plus précisément dans l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble (ENSHMG). Mes premières activités pédagogiques ont été dédiées à l'enseignement des mathématiques et l'encadrement de projets de conception. J'ai pu progressivement m'investir avec les équipes pédagogiques dans les thématiques plus proches de mes compétences (mécanique générale, conception, automatique). Au regard de mon parcours précédant mon arrivée à l'ENSHMG et dans l'équipe Conception Intégrée (CI) du laboratoire 3S et maintenant du laboratoire G-SCOP à Grenoble INP – Ecole de Génie Industriel, j'ai rapidement été identifié comme enseignant-chercheur référent en conception de produit lié au domaine médical. Dans ce nouveau contexte de recherche, mes réflexions quotidiennes initiales consistaient à faire converger mes expériences en conception de produits, de prototypes et de manipulation sur bancs d'expériences avec les activités de l'équipe CI. Effectivement, les réflexions menées depuis des années dans cette équipe étaient axées sur les méthodologies de conception de produit, la conception collaborative et l'intégration des métiers en conception, la gestion des connaissances tout au long du cycle de vie du produit ou encore des activités d'éco-conception et de remanufacturing.

C'est ainsi que je me suis construit. Mes activités scientifiques et techniques, d'implications administratives et de travaux collectifs sont détaillées dans le document présenté ici. J'espère qu'il pourra donner une vision claire et complète de mes investissements, des compétences développées et des connaissances générées et partagées.

## I. Curriculum Vitae

### 1. Etat civil

Nom et Prénom : **THOMANN Guillaume**  
Date et lieu de naissance : **19 novembre 1976 à Abidjan, Côte d'Ivoire**  
Nationalité : **Française**  
Situation de famille : **Marié, 2 enfants**  
Adresse personnelle : **230 route du Devez, 38140 Saint Blaise du Buis**  
Numéro de téléphone : **06 84 71 41 43**  
Adresse électronique : **guillaume.thomann@grenoble-inp.fr**  
Fonction : **Maître de Conférences, 60<sup>ème</sup> section CNU**  
Établissement actuel : **Institut polytechnique de Grenoble – Grenoble INP, Ecole de Génie Industriel (GI), 46 avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble Cedex1**  
Laboratoire actuel : **Laboratoire des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble – G-SCOP (UMR 7252)**  
Langues **Anglais : lu, écrit, parlé**  
**Portugais : lu, écrit, parlé**

### 2. Expériences professionnelles

Fév. 2005 à ce jour **Maître de Conférences à Grenoble INP – Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel**  
*Fév. 2005 à déc. 2006* période d'activité de recherche au laboratoire Sols Solides Structures (3S) et d'enseignements à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble (ENSHMG – INPG)  
*Janv. 2007 à ce jour* période d'activité de recherche au laboratoire G-SCOP et d'enseignements à Grenoble INP – GI  
Sept. 2004 – janv. 2005 **Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche à l'Université d'Evry Val d'Essonne (6 mois à temps plein)**  
Sept 2003 – août 2004 **Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche à l'INSA de Lyon (1 an à mi-temps)**

### 3. Formation

Sept. 2000 – août 2003 **Doctorat en Automatique Industrielle, spécialité Robotique Chirurgicale, à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon**

**Titre : Contribution à la Chirurgie Minimale Invasive : Conception d'un Coloscope Intelligent**

Soutenu le 27 novembre 2003 devant la commission d'examen composée de :

Maurice BETEMPS	Professeur	LAI, INSA de Lyon	Directeur de Thèse
Alain BOURGAULT	Professeur	LAB, ENSMM, Besançon	Rapporteur
Etienne DOMBRE	Directeur de Recherche CNRS	LIRMM, Montpellier	Président
Jean-Paul LALLEMAND	Professeur	LMS, Université de Poitiers	Rapporteur
Thierry PONCHON	Professeur, gastro-entérologue	Faculté de Médecine, Lyon 1	Examineur
Tanneguy REDARCE	Professeur	LAI, INSA de Lyon	Directeur de Thèse
Alain JUTARD	Professeur émérite	LAI, INSA de Lyon	Invité

Lieu : Laboratoire d'Automatique Industrielle, INSA de Lyon

Financement : bourse MESR

Sept. 1999 - Août 2000      Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) d'Informatique et Automatique Industrielle, Université de Haute Alsace, Mulhouse

**Titre : Etude expérimentale d'identification et de localisation des diamètres nodaux d'un disque en rotation – étude des vibrations**

Lieu : Laboratoire de Modélisation, Intelligence, Processus, Systèmes (MIPS)

Encadrant : Prof. Evelyne Aubry

Sept. 1997 – Juillet 2000      Diplôme d'ingénieur de l'Ecole Supérieure des Sciences Appliquées pour l'Ingénieur de Mulhouse en Informatique et Automatique Industrielle

Sept. 1994 – Juillet 1997      Classe Préparatoire aux Grandes Ecoles d'Ingénieurs, option Physique Technologie (PT), Lycée Louis Couffignal, Strasbourg (67)

Sept. 1993 – juillet 1994      Baccalauréat série E – Lycée Jean-Baptiste Schwilgué – Sélestat (67)



## II. Synthèse : enseignement, recherche, activités collectives et rayonnement

Ce chapitre a pour objectif de faire un point sur mon parcours d'enseignant-chercheur depuis les débuts de mes activités de recherche (Diplôme d'Etudes Approfondies – DEA) jusqu'à ma situation professionnelle actuelle à l'Institut polytechnique de Grenoble. J'y aborderai premièrement mes activités d'enseignement et travaux auprès des étudiants. Je continuerai par décrire succinctement les principales activités de recherche en dressant notamment des bilans qualitatif et quantitatif. Je proposerai ensuite un état de mes engagements dans les activités collectives, responsabilités administratives et engagements associatifs (voir Annexe 1, page 154). Pour finir, je tiens à donner une vision de mes rayonnements tant au niveau local, que national et international.

### 1. Mes activités d'enseignements et travaux auprès des étudiants

#### a. Contenu et évolution des activités

Mes trois années de monitorat durant mon doctorat à l'INSA de Lyon m'ont permis de découvrir quelques activités liées à l'enseignement supérieur, mais aussi le fonctionnement en équipe pédagogique. Lors de ces années, j'ai encadré des Travaux Pratiques (TP) de sciences physiques en premier cycle. Lors de ma dernière année de monitorat, j'ai eu l'occasion de prendre en charge un groupe nommé ASINSA dans lequel la moitié des étudiants étaient d'origine asiatique. Lors de mon année en tant qu'Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche (ATER) qui a suivi, toujours à l'INSA de Lyon, j'ai pu travailler en plus au département de Génie Mécanique et Conception en encadrant des Travaux Dirigés (TD) et des TP d'automatique en niveau Master 1. Lors de mon passage de six mois à l'Université d'Evry Val d'Essonne, j'ai enseigné d'une part des activités de conception mécanique et de cinématique, mais également des ateliers de découverte de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) notamment avec la manipulation du logiciel SolidWorks.

A Grenoble INP à partir de février 2005, j'ai été sollicité durant mes deux premières années pour enseigner des TD de mathématiques. En parallèle, j'ai pu me consacrer progressivement à des activités pédagogiques plus en lien avec mes formations initiales en automatique et mécanique. A l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble (ENSHMG – INPG), j'ai commencé par reformater le cours de conception mécanique en première année avec des outils plus interactifs et ludiques. J'ai également été immédiatement responsable des projets mécaniques en première année de l'ENSHMG, et ceci durant 3 ans. Pendant ces moments de projets, les étudiants devaient travailler à un développement de produit, de son idée à sa conception, voire à son prototypage, à sa fabrication et sa mise en œuvre. C'est ce cadre-là qui m'a notamment permis de proposer un projet de développement d'un instrument chirurgical innovant qui a abouti à un dépôt de brevet en 2009 [BR 1], en collaboration avec des chirurgiens du CHU Michallon de Grenoble. Cette activité pédagogique est un exemple de support permettant le développement de prototypes de systèmes débouchant sur des utilisations réelles sur le terrain. Actuellement, les projets pédagogiques proposés sont plus nombreux, récurrents, variés et chronophages mais constituent d'excellents supports à mes activités de recherche.

L'évolution de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG) en Institut polytechnique de Grenoble (Grenoble INP), avec le statut de Grand Etablissement, a transformé la cartographie de la formation et créé des filières dans les nouvelles écoles d'ingénieurs de l'établissement. Une grande

partie des enseignants de l'équipe pédagogique Conception Mécanique de l'ENSHMG a ainsi profité de cette évolution pour rejoindre l'Ecole de Génie Industriel intégrant davantage d'aspects de conception mécanique, simulation et de fabrication. L'élaboration de la nouvelle maquette pédagogique, à laquelle j'ai collaboré, et les réflexions autour des formations à Grenoble INP – Ecole de Génie Industriel ont abouti à la création d'un tronc commun de 1A (niveau Licence 1) dans lequel j'ai participé à de nombreuses activités de mécanique et de conceptions industrielles en Cours Magistral (CM), TD et TP. La création de la filière *Ingénierie de Produits* – IdP (2A et 3A) a nécessité également une grande réflexion autour des contenus de la formation. J'ai mené une réflexion autour d'une Unité d'Enseignement (UE) intitulée « Produits Futurs, Environnement et Usagers (PFEU) » dont j'ai été responsable jusqu'en juillet 2015.

Les principes de la conception centrée utilisateur que je mobilise dans mes recherches sont utilisés également dans mes activités pédagogiques avec les étudiants. L'observation et l'analyse des relations et des comportements entre utilisateurs et concepteur est au centre des apprentissages proposés. Ma préoccupation est donc d'offrir systématiquement, lors de tous mes projets pédagogiques, des terrains d'investigation permettant aux étudiants de mettre en application les notions étudiées en cours. Ainsi, chaque année dans l'UE PFEU, entre 25 et 35 étudiants participent à des études en collaboration très étroite avec des utilisateurs dont ils doivent comprendre et analyser les caractéristiques spécifiques pour faire émerger leurs besoins. Durant ces années, nous avons pu tester différentes approches pédagogiques et méthodologies de travail en essayant de les lier, dès que possible, à nos activités de recherche. Des contextes de terrain très variés sont découverts par les étudiants et les situations des utilisateurs y sont analysées en groupes. Ils doivent comprendre que des méthodes, outils et processus de conception identiques peuvent être mis en œuvre pour répondre à des situations distinctes, et que, suivant l'approche théorique choisie, les solutions proposées peuvent être bien différentes. Aborder des notions théoriques de méthodologies en conception de produits en 2A (Master 1) nous permet parfois de faire émerger des vocations autour de la recherche auprès d'étudiants.

Pour illustrer mes propos, j'expose ci-dessous trois exemples de contexte que nous avons proposé lors de l'année universitaire 2014-2015 :

- un groupe devait analyser la situation de jeu d'escrimeurs en situation de handicap et devait répondre à leur problématique : les plaques supports aux fauteuils s'endommagent régulièrement lors de la pratique de ce sport. Non seulement une analyse technique (matériaux, sollicitations, procédés de fabrication) était nécessaire, mais nous avons fortement insisté, auprès des étudiants, sur les utilisations et contraintes annexes insoupçonnées par eux au départ: le transport, l'installation du fauteuil sur les plaques par les sportifs handicapés, le coût à supporter par le club, les normes de la fédération, etc.
- un autre groupe de travail a découvert une enfant pré-adolescente dont la passion était la pratique du tennis. Elle est hémiparétique avec troubles cognitifs. Elle est suivie par de nombreux spécialistes : pédiatres, kinésithérapeutes, ergothérapeutes, neurologue, orthophoniste, médecin, etc. L'objectif demandé aux étudiants est de faire émerger les attentes des différents PH, mais également des parents et des éducateurs sportifs pour réaliser le cahier des charges d'un système permettant à l'utilisateur de pouvoir ramasser la balle avec son membre hémiparétique. Cette situation constitue un excellent contexte d'apprentissage pour les élèves ingénieurs dans le contexte du médical et pour la gestion d'un projet

collaboratif.

- Le troisième groupe a travaillé avec Bénédicte (adulte handicapée moteur en fauteuil électrique) qui voulait jouer du métallophone. L'interface utilisateur adaptée a déjà été conçue, fabriquée et elle est fonctionnelle. La demande faite au groupe est de trouver un moyen de faire jouer à Bénédicte cinq notes sur l'instrument de musique. Des rendez-vous avec le musicien, l'ergothérapeute, les concepteurs de l'instrument ont été organisés et les étudiants ont pris des décisions intégrant les critères musicaux et médicaux dans les choix des technologies d'interfaces et de leurs positions autour de Bénédicte.

Proposer ces activités pédagogiques est très contraignant d'un point de vue organisationnel car il est nécessaire d'impliquer les acteurs extérieurs et de les préparer à être sollicité par les étudiants, dans leur cadre professionnel pendant des créneaux imposés par l'organisation de l'école. Les objectifs ici sont (1) d'initier des réflexions avec les étudiants sur leurs approches méthodologiques et outils à mobiliser dans un tel contexte, mais surtout (2) de leur faire prendre conscience de l'importance des facteurs humains et donc relationnels, systématiquement présents dans ce type de travail.

La possibilité d'offrir un accès à la pratique musicale instrumentale pour les PSH occupe une place de choix dans les projets de conception proposés aux étudiants. En plus des encadrements pédagogiques à Grenoble INP – GI, j'ai proposé et encadré occasionnellement des projets de conception dans d'autres départements de formations à Grenoble, comme à l'IUT1 au département de Génie Mécanique et Productique, à l'Université Joseph Fourier (UJF) en licence de mécanique, ou encore à l'Université Pierre Mendès France (UPMF), à l'Institut des Administration des Entreprises en Master2 ou encore au Lycée Professionnel Jacques Prévert à Fontaine (38). De plus, tous les ans, entre deux à quatre projets sont proposés à Grenoble INP – Phelma en première année (niveau L3) pour participer à la conception de ces produits complexes en sollicitant notamment les compétences en électronique, traitement du signal et matériaux. Si je ne considère que les encadrements de projets dans ce contexte, le Tableau 1 résume la quantité d'étudiants y ayant participés depuis 2005.

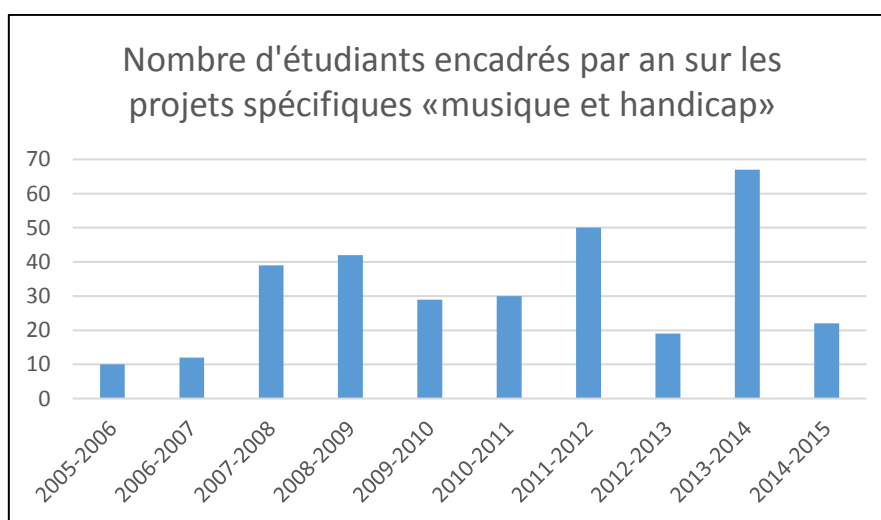


Tableau 1. Nombre d'étudiants encadrés par an sur les projets spécifiques « musique et handicap »

Un groupe est constitué environ de 3 à 5 étudiants et chaque projet s'étale quasi systématiquement sur un semestre. Chacun des groupes rencontre au minimum une PSH accompagnée de son ergothérapeute s'il s'agit d'une PSH scolarisée en établissement spécialisé. Durant les 10 dernières années, j'ai donc supervisé des activités de 320 étudiants pour environ 80



projets d'étude incluant environ une vingtaine de PSH différentes et environ quarante personnels du milieu paramédical de différents services publics ou cliniques privées. Par contre, quel que soit le contenu du projet dans ce contexte, les retours anonymes effectués par les étudiants lors des évaluations des enseignements sont globalement extrêmement positifs.

Il est important de préciser que l'encadrement d'un projet est co-piloté systématiquement par mon collègue Jacques Cordier (JC), musicien au département des musiciens intervenants du Conservatoire de musique de Grenoble (Conservatoire à Rayonnement Régional – CRR). Les activités que nous menons conjointement avec JC depuis plus de 10 années maintenant, nous ont notamment conduits à créer une association (Association pour l'Adaptation Ergonomique du Matériel Musical – AE2M) en février 2009 qui a pour objets de :

- permettre l'accès à la pratique musicale pour toute personne en situation de handicap (définition de la loi 11 février 2005) grâce à des systèmes adaptés,
- orienter des axes de réflexion et d'action
- créer des conditions de développement et de diffusion de tels systèmes ergonomiques.

C'est notamment l'association AE2M qui oriente et propose les sujets d'études auprès des universités. Je reviendrai plus tard sur l'organisation de cette association et sur ses principales activités et implications dans mes activités de recherche. Grâce aux nombreux travaux, manifestations et représentations effectuées en lien avec le CRR, JC et moi-même avons proposé et obtenu l'ouverture en septembre 2013, d'un module optionnel de formation au sein du CRR. Il s'agit de l'option « musique, technologie et handicap », une activité proposée aux étudiants du Cycle d'Enseignement Professionnel Initial (CEPI) du CRR de Grenoble (voir Annexe 2, page 156). Cette activité a été créée pour permettre une plus grande interaction entre les élèves du CRR et les élèves-ingénieurs des universités de Grenoble participants aux projets de développements techniques dans le cadre de leurs formations.

En parallèle à ces activités de terrain très motivante pour les étudiants et pour les enseignants de l'équipe, j'ai également pris la responsabilité des cours de mécanique de première année à Grenoble INP – GI en 2011. Il s'agit de coordonner l'ensemble des activités de l'équipe pédagogique pour les 135 étudiants de 1A qui suivent des activités de CM, de TD et de TP durant tout le premier semestre. J'effectue aussi des enseignements similaires dans la filière par apprentissage, tout en modifiant l'approche pédagogique qui se doit d'être différente avec ce public. Nous essayons d'aborder dans le temps imparti du dessin industriel, de la cinématique, de la statique, l'élasticité et la résistance des matériaux. Au second semestre de première année, j'ai aussi effectué des heures de TD et de TP de sciences industrielles en mécanique.

Mes interventions dans le Master Management, Innovation, Technologie (MIT) spécialité Génie Industriel et option *Product Development* me permettent d'aborder les notions de conception centrée utilisateur, de conception basée sur les scénarios et de conception participative avec plus de recul et de références bibliographiques à l'appui. Nous mettons en œuvre ici plus de réflexions sur les outils mobilisés, des points forts et faibles de ces méthodes suivant les contextes expérimentaux.

En plus de ces activités d'enseignement en présentiel avec les étudiants, je suis très engagé et participe activement aux activités d'encadrements de stagiaires Ingénieur Adjoint (fin de M1) et de Projet de Fin d'Etude (dernier semestre du cursus universitaire). En plus de cela, je présente ci-dessous quelques autres activités de l'école dans lesquelles je me suis investi :

- je suis co-responsable (avec un collègue de la filière Ingénierie de la Chaîne Logistique (ICL)) des accueils et des départs des étudiants français et étrangers en échange 6 mois, 1 an ou en Double Diplôme. Ceci consiste en la validation des choix des cours des étudiants entrants en apportant une attention particulière aux exigences de l'université d'origine et aux prérequis. Pour les étudiants sortants, nous les conseillons sur des cursus ou des universités étrangères et sur les choix de cours stratégiquement intéressants, également par rapport à leur projet professionnel,
- je participe très activement aux jurys de recrutements des étudiants 1A tous les ans à Paris et à Grenoble,
- j'encadre actuellement trois étudiants (un en 1A et deux en 2A) en filière par apprentissage Ingénierie de la Performance Industrielle Durable – IPID, que j'accompagne en entreprise et également en période de formation.

Plus récemment, lors de la redéfinition de la maquette pédagogique de Grenoble INP – GI pour la rentrée de septembre 2015, je me suis engagé sur deux projets importants :

- la prise de responsabilité de la nouvelle activité pédagogique «Projet Bachelor» qui mobilise la totalité des étudiants de 1A de l'Ecole de Génie Industriel pour réaliser des projets par groupes de 3 étudiants, durant le second semestre. Il s'agit pour moi d'animer et de coordonner cette activité de formation majeure de première année de l'école, mobilisant une grande majorité de mes collègues enseignants,
- une réflexion sur la maquette pédagogique nous a amenés à créer une UE optionnelle intitulée «Ergonomie de conception : usage et situations de travail», co-animée avec une collègue enseignant-chercheur ergonomiste. Cette UE regroupe une partie de cours d'ergonomie ainsi qu'une partie sur les processus de conception centrés utilisateurs. La création de cette UE a pour vocation de combiner les deux approches théoriques pour donner aux étudiants un bagage complémentaire concernant les observations de situations de travail ou d'usage de prototypes.

Un bilan quantitatif de mes activités d'enseignements est détaillé au tableau 2 ci-dessous. Un bilan de mes responsabilités pédagogiques donnant lieu à des décharges administratives est présenté au tableau 3.

#### b. Bilan quantitatif

L'évolution quantitative de mes activités d'enseignement est présentée dans le tableau 2 ci-dessous. La première colonne renseigne sur la période d'enseignement relative à ma situation professionnelle. Dans la seconde sont précisées les années universitaires durant lesquelles les matières ont été enseignées. La troisième informe des matières enseignées et du type des enseignements. La quatrième colonne renseigne sur le département dans lequel l'enseignement a été effectué et le niveau des enseignements. Les deux dernières colonnes donnent le nombre d'étudiants présents lors des séances en salle et la charge annuelle d'enseignement en heures équivalentes TD pour la matière concernée.

Je suis l'enseignant référent de quelques matières dans lesquelles j'interviens. A ce titre, j'assume, outre les cours magistraux, l'évolution du contenu des travaux dirigés et pratiques au regard des programmes pédagogiques et objectifs des formations.

Période d'enseignements		Matières enseignées <b>type</b>	Département <b>niveau</b>	Nbre étudiants (CM/TD/TP)	Quantité (éqv. TD)
2000-2003 (doctorat)	2000-2003	Physique Pratique <b>TP</b>	Prépa intégrée <b>L1</b>	18	64
	2001-2003	Micro robotique et robotique chirurgicale <b>CM</b>	GMC <sup>1</sup> <b>M2R</b>	25	6
2003-2004 (ATER-INSA Lyon)	2003-2004	Physique électronique <b>TP</b>	Prépa intégrée <b>L1</b>	18	64
	2003-2004	Robotique <b>TP</b>	GMC <b>M1</b>	9	36
	2003-2004	Robotique médicale <b>CM</b>	GMC <b>M1, M2R</b>	18	9
2004-2005 (ATER IUP Evry, 6 mois)	2004-2005	Mécanique <b>CM, TD</b>	IUP <sup>2</sup> Evry <b>DEUST<sup>3</sup></b>	15	24
	2004-2005	Conception, calcul <b>CM, TD</b>	IUP Evry <b>M1</b>	20	48
	2004-2005	Projet conception <b>Projet</b>	IUP Evry <b>L3</b>	10	24
2005-2007 (MCF, ENSHMG)	2005-2006	Mathématiques <b>TD</b>	ENSHMG 1A <b>L3</b>	25	12
	2005-2010	Bureau d'étude en mécanique <b>TD, BE<sup>4</sup></b>	Conception mécanique <b>L3</b>	30	48
	2005-2008	Technologie et projet conception <b>CM, TD, projet</b>	Conception mécanique <b>L3</b>	30	48
	2005-2008	Atelier d'Ingénierie <b>projet</b>	Conception mécanique <b>M1</b>	35	44
	2005-2008	BE, conception méca. dimensionnement <b>TD, projet</b>	Conception mécanique <b>M1</b>	35	46
2008-2015 (MCF, Génie Industriel)	2008-2012	Conception Industrielle <b>TD, TP</b>	GI 1A <b>L3</b>	30/15	44
	depuis 2008	Plateau Projet <b>projet</b>	IDP <sup>5</sup> <b>M1</b>	50	50
	depuis 2008	Produit et Usage <b>CM, projet</b>	IDP <b>M1</b>	35/35	15
	depuis 2008	Projet conception <b>projet</b>	Grenoble INP - Phelma <sup>6</sup> <b>L3</b>	10	20

<sup>1</sup> GMC pour le département de Génie Mécaniques et Conception de l'INSA de Lyon

<sup>2</sup> IUP pour Institut Universitaire Professionnel de l'Université d'Evry Val d'Essonne

<sup>3</sup> DEUST pour Diplôme d'Etudes Universitaires Scientifiques et Techniques

<sup>4</sup> BE pour Bureau d'Etudes

<sup>5</sup> IDP pour la filière Ingénierie de Produits de l'Ecole de Génie Industriel

<sup>6</sup> Grenoble INP – Phelma pour l'Ecole du groupe Grenoble INP spécialisée en Physique, électronique et matériaux

	depuis 2008	Mécanique cinématique et statique <b>CM, TD, TP</b>	IDP	<b>L3</b>	130 /32/15	60
	depuis 2008	Mécanique cinématique et statique <b>CM, TD, TP</b>	IPID	<b>L3</b>	27/27/15	40
	depuis 2008	Knowledge Integration and Collaboration in Design <b>CM, TD</b>	IDP	<b>M2R</b>	13 à 18 en CM et TD	9

Tableau 2. Résumé des enseignements effectués depuis mon doctorat

Le tableau 3 ci-dessous recense mes engagements dans des activités collectives ou mes responsabilités donnant lieu à des décharges ou reconnaissances d'activités pédagogiques.

<b>Années</b>	<b>Intitulés</b>	<b>Heures équivalents TD</b>	<b>Travaux correspondants</b>
2005-2008	Responsable organisation des forums / salons des étudiants	12	Présences des étudiants de première année dans les forums de leurs anciennes classes préparatoires
2006-2008	Voyage d'étude	12	Voyage de 3 jours avec une promotion d'étudiants pour visiter des entreprises d'une région de France
depuis 2007	Suivis, encadrements, soutenances de stagiaires, présidences de jurys	Environ 50	Aide à la recherche de stages, suivis et visites en entreprises, organisations des soutenances et participations aux jurys
depuis 2008	Relations Internationales à Grenoble INP – Génie Industriel	Entre 12 et 35 suivant les années	Activités de suivi des étudiants étrangers arrivant à GI ou français partant à l'étranger
depuis 2009	Chargé de Mission Handicap	48	Activités liées à la mise en place de la politique handicap à Grenoble INP

Tableau 3. Activités donnant lieu à des décharges ou reconnaissances d'activités pédagogiques

Lors de mon année de Congé pour Recherche et Reconversion Thématique (CRCT), j'ai eu les opportunités d'enseigner dans deux universités brésiliennes. Le tableau 4 ci-dessous les résume. Des détails seront donnés dans la partie Rayonnement de ce chapitre.

<b>Période d'enseignements</b>	<b>Matières enseignées type</b>	<b>Département niveau</b>	<b>Nbre étudiants (CM/TD/TP)</b>	<b>Quantité (éq. TD)</b>
2013-2014 (durant mon CRCT au Brésil)	Biomécanique <b>CM, TD</b>	UNESP <b>M2R et Doctorat</b>	7	66
	Projet interdisciplinaire <b>projet</b>	UFPB <b>L/M/D</b>	54	67

Tableau 4. Activités de recherche effectuées au Brésil en 2003-2014

## 2. Mes activités de recherche actuelles

Mes activités de recherche s'orientent autour des méthodologies de conception centrées utilisateurs. Effectivement, la prise en compte des usages et des usagers dans la conception des produits reste un aspect difficile à traiter, en particulier lorsque leur profil est très spécifique. Mes travaux s'articulent autour des deux thématiques de recherche principales DESTIN et CARACTH-AMUSE. Une troisième thématique à laquelle je participe sera aussi rapidement présentée ici : INNOServ (projet ANR). Je ne vais pas détailler en profondeur les contenus des projets de recherche car ils seront largement évoqués dans le second chapitre de ce document.

### a. Thématique DESTIN

(DEsign for Surgical/Technological Innovation) dont je suis responsable scientifique depuis 2005

- 1 thèse soutenue (Rahi Rasoulifar) et 7 étudiants de M2-Recherche encadrés (voir page 145)
- 2 articles publiés dans des revues Internationales à Comité de Lecture [AI 3] [AI 7], 16 communications dans des congrès internationaux à comité de lecture [CI 13] [CI 16] [CI 17] [CI 18] [CI 20] [CI 21] [CI 22] [CI 23] [CI 26] [CI 27] [CI 29] [CI 30] [CI 33] [CI 35] [CI 36] [CI 38], 2 brevets dont un étendu à l'international [BR 1] [BR 2], des communications dans des congrès nationaux à comité de lecture et de vulgarisation

**Partenaires institutionnels :** plate-forme technologique GI-Nova de l'AIP Priméca Dauphiné Savoie, l'équipe Multicom du Laboratoire d'Informatique de Grenoble (UMR 5217), le pôle TCCR de la clinique d'orthopédie-traumatologie (CHU Michallon de Grenoble), deux départements de l'Université de Delft (programme de recherche MISIT et département MEDISIGN)

**Collaborateurs de recherche au laboratoire G-SCOP :** François Villeneuve, Jean-François Boujut

#### Collaborateurs de recherche hors G-SCOP

Jean Caelen	Directeur de Recherche CNRS, responsable de l'équipe Multicom du <b>laboratoire LIG, Grenoble</b>
Brigitte Meillon	Ingénieur de recherche, équipe Multicom du <b>laboratoire LIG, Grenoble</b>
Jérôme Tonetti	PU – PH, Chirurgien orthopédique au <b>CHU Michallon de Grenoble</b>
Hervé Vouaillat	PH, Chirurgien orthopédique au <b>CHU Michallon de Grenoble</b>
Roch Mader	Interne en chirurgie, <b>CHU Michallon de Grenoble</b>
Jenny Dankelmann	Professeur à l' <b>Université de Delft</b> , responsable du programme MISIT, Pays-Bas
Alain Di Donato	Ingénieur d'étude, responsable de la plate-forme technologique GI-Nova, Grenoble

Le travail principal de cet axe de recherche est la formalisation d'un processus de conception co-évolutif produit-usage permettant le développement d'instruments chirurgicaux innovants. Les premières phases de ce projet nous ont permis de confronter régulièrement différentes versions de prototypes sur des mannequins en salle d'opération pour valider les usages, et de définir proprement les notions de scénarios d'usage et d'émulation. Plus récemment, nous nous sommes reconcentrés sur l'utilisation du bras à retour d'effort présent sur la plate-forme technologique GI-Nova de l'Atelier inter-établissement de Productique Primeca Dauphiné-Savoie (AIP Priméca DS) pour effectuer et

observer les manipulations des instruments chirurgicaux par les Praticiens Hospitaliers (PH) dans un environnement immersif. Nous avons ainsi créé un environnement virtuel dans lequel ils effectuent les interventions chirurgicales dans le but de valider les innovations technologiques proposées et leurs utilisations appropriées. Nous travaillons sur les aspects perceptivo-moteur, ergonomie de l'environnement virtuel et de l'interface physique, immersion visuelle, etc.

La complexité de la réflexion et de l'observation, et donc l'innovation dans l'approche méthodologique implique une approche fortement interdisciplinaire. Nous regroupons pour cela des compétences en chirurgie orthopédique, en conception de produit, en ergonomie et en instrumentation.

Dès mon arrivée à Grenoble en 2005, j'ai pu proposer deux sujets de recherche et ainsi encadrer mes deux premiers étudiants de Master Recherche entre novembre 2005 et juin 2006. Un de ces sujets portait sur la formalisation du processus de conception d'un ancillaire innovant destiné à une opération chirurgicale percutanée. Le travail initié lors de ce stage a constitué la base de ma première activité principale sur le site grenoblois. Grâce à la forte implication de l'équipe chirurgicale partenaire, nous avons pu comprendre et formaliser les problématiques rencontrées par les PH, leurs besoins, et cibler les verrous du travail de recherche que nous mettions en place. La recherche d'une nouvelle procédure opératoire dédiée à un instrument chirurgical innovant allait alimenter quelques années de mes recherches et notamment le travail de **mon premier co-encadrement de thèse entre 2006 et 2009** (Rahi Rasoulifar). Ces travaux en lien extrêmement étroit avec le service d'orthopédie et traumatologie de l'Hôpital Nord CHU Michallon de Grenoble ont donné lieu à des résultats théoriques et expérimentaux très prometteurs. Nous basant sur une approche recherche-action en appliquant des principes de conception participative, nous avons conçu un instrument chirurgical innovant (Protige) afin d'observer et de capturer le contenu des expérimentations en salle d'opération. Les différentes analyses du corpus de ce projet nous ont aidés à découvrir et identifier de nouveaux aspects du processus de conception, comme la co-évolution du produit et de l'usage et le rôle de l'utilisateur expert dans le processus. Finalement, nous avons proposé une modélisation descriptive de processus de conception, incluant les concepts d'émulation et de Conception Centrée Utilisateur Expert pour ensuite formaliser une méthode prescriptive de processus de conception pour les instruments chirurgicaux innovants.

Suite à ces travaux initiaux, les réflexions avec plusieurs étudiants élèves-ingénieurs et de Master Recherche ont permis de développer un environnement immersif pour évaluer la pertinence de la manipulation d'un robot à retour d'effort par l'utilisateur expert. Ces travaux ont eux aussi débouché sur de nombreux articles scientifiques en conférences nationales et internationales.

#### b. Thématique CARACTH-ASMUSE

CARACTH (CARACTérisation des spécifications motrices des utilisateurs Handicapés dans la conception de produits) ; AMUSE (An innovative Medical Use of technology for patient capabilities Evaluation) dont je suis le coordinateur scientifique depuis 2005

- 1 thèse soutenue (Julien Veytizou), 1 thèse non soutenue (Cécile Magnier) et 2 thèses en cours (Marcel de Gois Pinto (3A) et Justine Coton (1A)), 6 étudiants de M2-Recherche et PFE encadrés (voir page 145)
- 5 revues internationales publiées [AI 1] [AI 7] [AI 1] [AI 7] [AI 1], 8 communications dans des congrès internationaux à comité de lecture [CI 19] [CI 28] [CI 31] [CI 32] [CI 34] [CI 39] [CI 40]

[CI 41], des communications dans des congrès nationaux à comité de lecture et de vulgarisation

**Partenaires Institutionnels :** *Laboratoire de Psychologie et de NeuroCognition (LPNC-Grenoble, UMR 5105), Laboratoire des Techniques de l'Ingénierie Médicale et de la Complexité - Informatique, Mathématiques et Applications (TIMC-IMAG Grenoble, UMR 5525), Association AE2M (Adaptation Ergonomique de Matériel Musical), Services de Médecine Physique et Réadaptation (CHU Lyon), Centre de Référence des maladies rares neuromusculaires Pôle de psychiatrie et neurologie (UJF, CHU Michallon, Grenoble), plusieurs établissements accueillant les enfants en situation de handicap (IEM, IME, IMP de l'APF), Conservatoire à Rayonnement Régional de Grenoble (CRR de Grenoble), plate-forme technologique GI-Nova de l'AIP Priméca Dauphiné Savoie.*

**Collaborateurs de recherche au laboratoire G-SCOP :** Cédric Masclet, Philippe Marin, Matthieu Museau, Frédéric Noël, Guy Prudhomme, François Villeneuve, Peggy Zwolinski

**Collaborateurs de recherche hors G-SCOP**

Edouard Gentaz	Directeur de Recherche CNRS, <b>laboratoire LPNC, Grenoble</b>
Richard Palluel Germain	Maître de Conférences, <b>laboratoire LPNC, Grenoble</b>
Vincent Nougier	Professeur des Universités, <b>laboratoire TIMC-IMAG, Grenoble</b>
Isabelle Olivier	Professeur des Universités, <b>laboratoire TIMC-IMAG, Grenoble</b>
Jacques Cordier	Musicien intervenant, Conservation à Rayonnement Régional de <b>Grenoble</b>
Alain Di Donato	Ingénieur d'étude, responsable de la plate-forme technologique GI-Nova, <b>Grenoble</b>
Julie Thony, Emilie Cornu	Ergothérapeutes, Association Française contre la Myopathie (AFM), <b>Grenoble</b>
Emeline Lagrange	Professeur des Universités, PH, coordinatrice du centre de référence des maladies rares neuromusculaires, <b>CHU Michallon, Grenoble</b>
Eric Chevrier	PH, kinésithérapeute, HDJ Neurologie, Unité des Troubles du Mouvement, <b>CHU Michallon, UJF, Grenoble</b>
Carole Vuillerot	PH, Pédiatre, Université Lyon 1, <b>CHU Lyon</b>
José Elias Tomazini	Professeur, Faculté d'Ingénierie de Guaratingueta, <b>UNESP, Brésil</b>
Marcelo Sampaio Martins	Professeur Assistant, Faculté d'Ingénierie de Guaratingueta, <b>UNESP, Brésil</b>
Eugenia Mattos	Ergonome, Faculté d'Ingénierie de Guaratingueta, <b>UNESP, Brésil</b>
Fabio Morais	Professeur Assistant, Centre de Technologie, département de Génie Industriel, <b>UFPB, Brésil</b>
Christine Werba	Ergonome, Centre de Technologie, département de Génie Industriel, <b>UFPB, Brésil</b>
Tatiana Tavares	Professeur, Centre d'informatique, <b>UFPB, Brésil</b>

Le travail avec les utilisateurs lourdement handicapés physiques a pour objectif de contribuer à une meilleure prise en compte des exigences des usagers dans le processus de conception de produit. Plusieurs axes sont développés dans ce travail.

L'un d'entre eux consiste à mieux comprendre les approches méthodologiques et les outils mobilisés pour travailler avec ces utilisateurs dans le contexte de la conception d'interfaces pour la pratique musicale instrumentale. Divers travaux expérimentaux et leurs analyses ont été menés pour

comprendre et catégoriser certains outils de conception. Il s'agit aussi de proposer des outils méthodologiques pour permettre de caractériser les spécificités perceptivo-motrice des PSH dans le processus de conception. Nous voulons élaborer des techniques d'analyse et de diagnostic concernant la cinématique des gestes des utilisateurs, dans le but de les caractériser et dans un deuxième temps de les exploiter. Une activité principale en cours est l'utilisation de la Kinect pour capter les capacités physiques d'enfants handicapés moteurs. Les étapes d'observation, d'analyse puis de caractérisation en temps réel doivent permettre de déboucher sur des propositions d'interface virtuelle personnalisée (nombreux critères à valider), notamment pour la pratique musicale instrumentale.

Un autre axe en cours de développement dans les deux travaux de thèse actuels concerne le développement d'un outil utilisant des principes du *lean développement* et du *lean manufacturing* pour aider à la conception de produits sur mesure. La revendication étant la possibilité de produire en masse, à l'aide notamment de conception modulaire, mais de rester néanmoins au plus proche des besoins des utilisateurs.

Enfin, le troisième axe se développe en accord avec les inventeurs du protocole de Mesure de la Fonction Motrice (MFM), basés au CHU de Lyon. Ces recherches ont comme ambition de proposer un nouveau protocole d'évaluation des fonctions motrices basé entre autre sur l'utilisation de la Kinect. Après avoir effectué un bilan des pratiques actuelles avec les professionnels kinésithérapeutes, les objectifs de ces activités sont (1) de nous affranchir des paramètres aléatoires de l'évaluation par l'humain et (2) de profiter des technologies utilisées pour proposer des activités ludiques et plus motivantes pour les patients.

Dès juin 2005, j'ai été contacté par JC dont la problématique était de pouvoir de proposer des activités musicales instrumentales à des jeunes enfants atteints de maladies neuromusculaires dégénératives. De projets de conception proposés à des étudiants en passant par des encadrements de stages de fin d'étude puis des travaux plus théoriques, méthodologiques et organisationnels, j'ai pu proposer **un travail de doctorat que j'ai co-encadré à partir d'octobre 2009** au laboratoire G-SCOP (Cécile Magnier). Ce travail constitue un nouveau point de départ personnel très important dans ma carrière. Il m'a permis non seulement d'avoir une reconnaissance locale progressive forte comme enseignant-chercheur en conception de produit dans le domaine du handicap, mais il a surtout permis d'enrichir nos expériences de travaux sur l'interdisciplinarité en conception par une collaboration entre musiciens, ergothérapeutes et ingénieurs. Les travaux ont progressivement mis en évidence l'importance de l'implication des utilisateurs et de leur participation active et efficace au plus tôt dans le processus de conception. Nous avons montré également que les phases de mises en œuvre expérimentales sont essentielles pour une meilleure connaissance des exigences de chacun. De plus, la place du prototypage et de la confrontation entre l'utilisateur et des prototypes successifs est importante dans de nombreuses situations.

Durant les trois années de durée de ce travail de doctorat, nous avons proposé et encadré de très nombreux projets de conception dans diverses spécialités d'ingénierie et plusieurs départements de formations pour permettre la pratique musicale instrumentale (voir mes activités d'enseignement – tableau 1, page 23). Ce travail très applicatif et expérimental nous a permis de donner accès à la pratique musicale instrumentale à de nombreuses personnes en situation de handicap, de proposer des produits innovants et à moindre coût. Les rencontres avec étudiants et professeurs sont très nombreuses et extrêmement variées.



Les réflexions méthodologiques autour de l'adaptation optimale de l'interface à son utilisateur en situation de handicap pour la pratique musicale instrumentale nous ont amenés à proposer un nouveau travail de doctorat sur ces thématiques. C'est ainsi qu'à partir **d'octobre 2011, j'ai co-encadré un nouvel étudiant de doctorat** (Julien Veytizou) pour travailler à la caractérisation des spécificités motrices d'utilisateurs handicapés dans le processus de conception de produits et de son application à la conception de systèmes ergonomiques adaptés pour la pratique musicale instrumentale. Les éléments principaux mis en reliefs lors de ces récents travaux sont de deux natures : le premier est la proposition d'un processus de conception nommé CARACTH, basé sur le processus itératif de la Conception Centrée Utilisateur (User Centered Design ou UCD en anglais). Le second est le développement du logiciel nommé KinectLAB permettant l'utilisation du capteur Kinect de Microsoft (que nous nommerons *la Kinect* dans le reste du document) pour caractériser les spécificités motrices des utilisateurs en situation de handicap. Ce travail a notamment été récompensé par le prix de thèse 2014 par l'Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques (IFRATH). Pour les étapes de validation du logiciel KinectLAB, et notamment pour valider les précisions et la répétabilité des mesures avec la Kinect, nous avons eu l'opportunité de travailler avec des équipes de kinésithérapeutes du CHU Michallon à Grenoble. Il a ainsi été possible de confronter la Kinect couplée au KinectLAB à des protocoles officiels et reconnus pour l'évaluation des capacités motrices de patients (le protocole MFM principalement).

Les possibilités offertes par nos propositions matérielle et logicielle ont rapidement convaincu et motivé les équipes partenaires de PH. Nous avons ainsi posé les bases d'une adaptation de nos outils dans le cadre de protocoles d'évaluation motrice pour une certaine typologie de patients. L'objectif du **travail doctoral initié en décembre 2014 que je co-encadre** (Justine Coton), est de proposer un outil d'évaluation précis, reproductible et ludique, de la fonction motrice inspirée de la MFM, la *Kinect-MFM*. Nous voulons proposer aux patients atteints d'Amyotrophie Spinale Infantile (pathologie dénommée ASI), un protocole standardisé innovant d'évaluation des fonctions motrices. L'approche par pathologie est motivée par le nombre d'essais importants dans cette dernière, mais également par la préservation intacte de toutes les capacités cognitives de ces enfants, en faisant une population idéale pour réaliser ce projet.

Je co-encadre actuellement un **travail de thèse commencé en mai 2013** par un professeur du département de mécanique et génie industriel de l'Université Fédérale de Paraíba (Marcel de Gois Pinto). Il consiste à identifier des principes du *Lean Développement* qui pourraient apporter des avantages pour la conception de produit pour les personnes en situation de handicap. D'importants travaux bibliographiques sur les approches de conception spécialisées et une analyse approfondie des produits d'assistance à la marche alimentent les réflexions. Basée notamment sur le principe de la conception modulaire, l'approche méthodologique proposée permettrait la conception de produits personnalisés à moindre coût et adaptés aux besoins spécifiques des PSH. Nous désirons proposer un outil d'aide aux concepteurs permettant de mettre à disposition des utilisateurs un système personnalisé d'aide à la marche basé sur une série de composants standardisés.

J'ai également **accompagné durant une année à G-SCOP, une étudiante kinésithérapeute en Doctorat au Brésil** (Vania dos Reis Miranda), à l'Université d'Etat *Paulista Júlio de Mesquita Filho* (UNESP) de juillet 2014 à juin 2015. Ses réflexions scientifiques consistent à comprendre les stratégies de rééquilibrage de personnes âgées soumises à un déséquilibre soudain, dans le but de proposer des traitements médicamenteux et de rééducation adéquats. Actuellement toutes les analyses médicales sont réalisées sur des plates-formes instables constituées d'un plateau fixe et d'un tapis de mousse

(différentes densité et épaisseur). Encadrée par les enseignants-chercheurs du département de mécanique de l'UNESP, son travail de thèse réside en la conception, la construction et l'évaluation d'une plate-forme instable constituée de quatre ressorts. Le travail effectué à G-SCOP consiste en (1) la construction d'une nouvelle plate-forme de force comportant plus de paramètres ajustables et en (2) l'association de la Kinect pour valider la possibilité d'évaluer avec précision et à moindre coût le contrôle postural.

J'ai **co-encadré une étudiante ergothérapeute en Master Recherche en Informatique** à l'Université Fédérale de Paraíba (UFPB) à Joao Pessoa (Eliza Oliveira) et participé à ses jurys de Master (soutenance finale le 15 juin 2015). Son travail consistait à évaluer la performance d'un adolescent en situation de handicap moteur (paralysie cérébrale) lors de la manipulation d'un objet ludique interactif. La balle lumineuse «Sphère» commandée initialement via un Smart Phone a été adaptée par l'équipe informatique pour être utilisée de manière autonome par cet utilisateur lourdement handicapé. Le travail effectué consiste en la redéfinition du cahier des charges de l'IHM et en l'évaluation de la satisfaction de l'utilisateur. Pour ce dernier point, de nombreuses échelles d'évaluation motrices ont été mobilisées et nous avons élaboré une proposition d'évaluation de la satisfaction utilisateur que nous pourrions utiliser lors de nos activités à G-SCOP. Deux demandes successives de financements de bourse de thèse de 3 ans pour Eliza Oliveira ont été faites à des organismes de recherche brésiliens, sans succès pour le moment.

### c. INNOServ

INNOvation des SERVICES à la personne fragile, ANR Programme Société Innovante (accepté en 2011, fonctionnement 2012-2015)

- 1 étudiant de M2-Recherche co-encadré
- 1 communication dans un congrès international à comité de lecture [CI 37]

**Partenaires:** 5 laboratoires de recherche (LIG, CERAG, PACTE, LCIS), la Société Fédérative de recherche Innovacs, Conseil Générale de l'Isère, ESP38-VIVAL (plate-forme de Services aux Particuliers de l'Isère), société ARCAN Systems, CHU Michallon.

**Collaborateurs de recherche au laboratoire G-SCOP :** Maria Di Mascolo

#### **Collaborateurs de recherche hors G-SCOP**

- Environ deux représentants chercheurs de chacun des laboratoires de recherche impliqués dans le projet

INNOServ a pour objectif de faire un état des lieux de l'offre de services à la personne fragile, de proposer des scénarii de prise en charge de la personne fragile aux acteurs de cette offre et de les accompagner dans leur réflexion stratégique par une démarche d'innovation de services reposant sur les dimensions «humaines» et technologiques (technologies simples, robustes, performantes et bon marché, appelées low-tech dans la suite du document).

Dans cette ANR, j'ai la responsabilité scientifique d'une sous-tâche dont le but est de réaliser un état de l'art sur la littérature scientifique concernant la notion de service à la personne fragile, les types de services à développer, ainsi que sur les usagers de ces services et leurs attentes en termes de qualité de service.

#### d. Bilan qualitatif

Les liens entre les activités chirurgicales et le handicap sont très proches et les points communs sont réels :

- les conceptions de produits impliquent fortement les utilisateurs experts du milieu médical (savoir-faire unique, grande expérience personnelle, vision spatiale de l'anatomie spécifique, etc.) ou en situation de handicap (capacité physique et cognitive singulière, expression verbale souvent limitée, présence de personnel paramédical, etc.),
- les deux thématiques impliquent des travaux fréquents de conception, de prototypages et de fabrication et donc des confrontations produit-usage avec ces utilisateurs sur leurs terrains d'expertises,
- les deux situations expérimentales impliquent systématiquement des interventions de compétences expertes multiples et variées, ce qui implique des collaborations fortement interdisciplinaires.

Les sujets de recherche proposés à différents niveaux de formation ont souvent un point commun redondant : une interdisciplinarité forte et une étude de terrain omniprésente. Ces pratiques nous permettent de déboucher naturellement sur des conceptions et réalisations de produits. Ainsi, je me positionne généralement dans une situation où les besoins réels des utilisateurs nous permettent de créer des supports (processus et produits) nourrissant nos études théoriques et scientifiques.

Les conséquences de ces pratiques sont notamment deux brevets posés en 2009 [BR 1] [BR 2], et la création d'une structure associative (association pour l'Adaptation Ergonomique du Matériel Musical), créée début 2009. Cet engagement associatif est tout à fait complémentaire à mes activités d'enseignements et de recherche et a alimenté notamment les deux thèses débutées en 2009 et 2011.

Depuis 4 années, des collaborations se concrétisent avec des chercheurs spécialisés en psychologie et neuro-motricité. Avec le laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC, UMR 5105) et notamment l'équipe dédiée aux systèmes perceptivo-moteurs, nous avons co-encadré des étudiants pour mener des expérimentations spécifiques (tâches de pointage) avec enfants et adolescents en situation de handicap. D'autre part, un co-encadrement d'une étudiante de master recherche pôle cognition mené avec le Laboratoire des Techniques de l'Ingénierie Médicale et de la Complexité - Informatique, Mathématiques et Applications (TIMC-IMAG, UMR 5525) et son équipe Santé, Plasticité, Motricité, nous a permis de mieux identifier et comprendre les déficits cognitifs d'enfants atteints d'infirmité motrice cérébrale dans le cadre de la pratique d'instruments de musique adaptés et a abouti à un article publié en revue internationale à comité de lecture [A 9].

Enfin, ces implications fortes en recherche ont notamment débouché sur quelques distinctions ou reconnaissances :

- projet AE2M lauréat du prix régional Rhône Alpes «Vivons Ensemble la Cité» en 2007,
- lors de la conférence internationale CIRP Design à Bochum en 2013, l'article que j'ai présenté oralement a été récompensé par le Best Paper Award,
- je suis bénéficiaire de la « Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche » (PEDR) depuis 2012,
- prix de thèse 2014 par l'Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques (IFRATH) pour

le travail de Doctorat de Julien Veytizou,

- j'ai été proposé comme consultant expert scientifique pour le Conseil National du Développement Scientifique et Technologique du Brésil (CNPq – équivalent du CNRS) fin 2014.

#### e. Bilan quantitatif

J'ai co-encadré trois étudiants de doctorat (dont deux ont soutenu leur thèse) et j'en co-encadre actuellement deux autres. J'ai dirigé un étudiant de Post-Doctorat et j'accompagne actuellement un étudiant de Post-Doctorat. J'ai encadré également 20 étudiants de Master Recherche ou PFE avec une orientation recherche (page 146). Les tableaux ci-dessous représentent les publications parues (publications personnelles page 137) :

- le tableau 5 fait état de mes articles publiés en revues nationales et internationales à comité de lecture ainsi que les brevets et les chapitres d'ouvrage,
- le tableau 6 illustre le bilan de mes communications en congrès nationaux et internationaux à comité de lecture ainsi que d'autres manifestations locales et de vulgarisation scientifique.

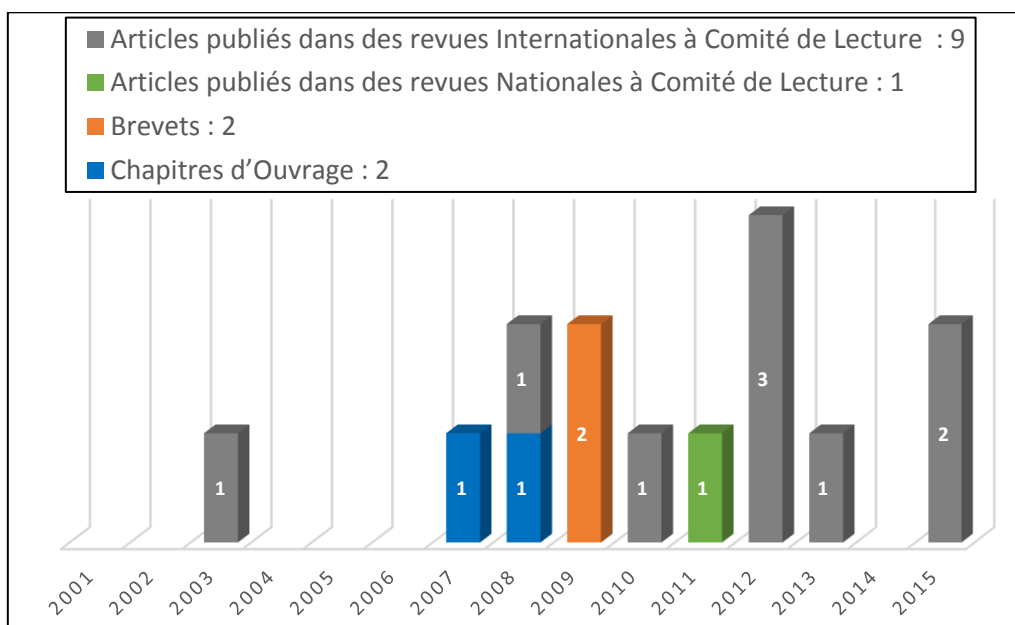


Tableau 5. Publications et articles scientifiques

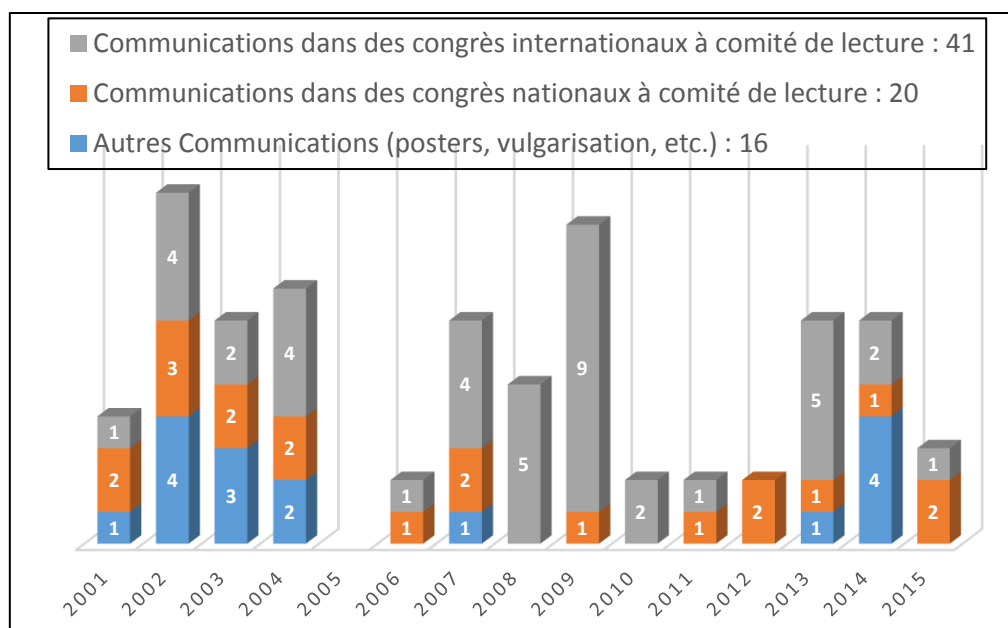


Tableau 6. Conférences et communications orales

Le nombre de publications et de conférences plus faible durant les années 2005 et 2006 est une conséquence du déroulement de mes six mois d'ATER à l'Université d'Evry Val d'Essonne (septembre 2004 à février 2005) et de ma nomination à Grenoble INP en février 2005. L'année 2005 ayant été principalement consacrée à mon adaptation en enseignement et en recherche à Grenoble INP.

### 3. Activités Collectives

La section présentée ici recense mes activités contractuelles qui illustrent mon dynamisme et ma volonté à développer les activités de recherche collaboratives en conception de systèmes dans les domaines de la santé et du handicap. Elle montre mes implications et activités collectives, et fait un focus sur mes deux principales actions liées au handicap.

#### a. Activités contractuelles

Mes activités de rayonnement économique et social sont liées aux projets déposés et acceptés. Mon dynamisme et ma motivation se traduisent par de nombreux projets de recherche déposés depuis ma nomination comme enseignant-chercheur à Grenoble INP. Le tableau 7 ci-dessous montre les projets déposés et acceptés pour développer les activités de recherche au laboratoire G-SCOP.

Dates	Appel à projet	Contexte de la demande	Dotation	Collaborateurs
2006-2009	BQR Grenoble INP	Thèse Rahi Rasoulifar	Bourse de thèse	CHU Michallon Grenoble, LIG
2007	Prix Régional Région Rhône Alpes «Vivons Ensemble la Cité»	Adaptation ergonomique du matériel musical	20 k€	CRR, APF
2007	Cluster GOSPI	Rayonnement international pour le médical	6 k€	Université Delft
2008	SMIng, UJF	Conception et fabrication d'instruments chirurgicaux	22 k€	CHU Michallon Grenoble

<b>2009-2012</b>	<b>Bourse Ecole Doctorale IMEP2</b>	<b>Thèse Cécile Magnier</b>	Bourse de thèse	AIP Primeca DS, AE2M
2009	Cluster Handicap, Vieillessement, neurosciences (HVN)	Méthodologie de conception pour les utilisateurs handicapés	20 K€	TIMC-IMAG, LPNC, AE2M
2009	SMIng, UJF	Méthodologie de conception pour les utilisateurs handicapés, fabrication en série de systèmes	40 K€	AIP Primeca DS, AE2M
<b>2011-2014</b>	<b>Bourse Ecole Doctorale IMEP2</b>	<b>Thèse Julien Veytizou</b>	Bourse de thèse	AIP Primeca DS, AE2M
2011	BQR Innovant, Grenoble INP	Méthodologie de conception pour le handicap	20 K€	TIMC-IMAG, AE2M
2012-2015	ANR Société Innovante	Innovation des Services à la personne fragile	15 K€	LIG, CERAG, PACTE, LCIS
<b>2013-2014</b>	<b>CAPES-CNPq – Brésil</b>	<b>Financement stage doctoral pour Vania dos Reis Miranda</b>	Bourse	UNESP, Brésil
<b>2013-2016</b>	<b>CAPES-CNPq – Brésil</b>	<b>Thèse Marcel De Gois Pinto</b>	Bourse de thèse	UFPB, Brésil
<b>2014-2015</b>	<b>AFM-Téléthon</b>	<b>Post-Doc Julien Veytizou</b>	Bourse de Post-Doc	CHU Lyon et CHU Michallon
<b>2014-2017</b>	<b>Bourse Ecole Doctorale IMEP2</b>	<b>Thèse Justine Coton</b>	Bourse de thèse	CHU Lyon et CHU Michallon
2015	Fondation de l'Avenir	Développement protocole Kinect-MFM	30 k€	CHU Lyon et CHU Michallon
2016	SFR INNOVACS	Acceptabilité par l'utilisateur et développement Serious Game	9 k€	Laboratoire Interdisciplinaire de Psychologie (LIP)

Tableau 7. Projets déposés et financements acceptés depuis 2005

A ces financements obtenus sur Appels à projet viennent s'ajouter les deux financements obtenus pour mes deux séjours de 3 mois au Brésil. L'un dans le cadre des «Chaires française de l'état de Sao Paulo» pour l'UNESP et l'autre dans le cadre de l'«accueil de professeur visitant» à l'UFPB. J'ai également obtenu un financement de l'UNESP pour aller réaliser le travail de recherche en avril 2015 à l'UNESP, campus de Guaratingueta.

En plus de ce résumé des projets acceptés, je propose ci-dessous une liste (tableau 8) des projets déposés qui n'ont malheureusement pas abouti.

Année de dépôt	Appels à Projets déposés et non acceptés
2007	SMIng UJF, Cluster Innovation, Cluster GOSPI
2008	CIBLE Blanc région Rhône-Alpes, Cluster HVN, Focus Innovation
2009	CIBLE Blanc région Rhône-Alpes

2010	ANR Blanc, PEPS
2012	SFR Innovacs
2013	PEPS, ANR «Société innovante», SFR Innovacs
2014	AGIR, 4 projets ANR, CAPES-Cofecub
2015	AGIR, 2 projets ANR, 2 projets FIRAH

Tableau 8. Projets déposés et non acceptés depuis 2005

Ainsi, à partir du type de financements obtenus ces dernières années, je peux affirmer que je revendique surtout des travaux dans le développement économique et social local. Effectivement, mes activités de recherche m'ont amené à collaborer notamment avec de nombreux centres et instituts spécialisés des domaines médical et chirurgical, notamment :

- le CHU Michallon de Grenoble : unités de chirurgie orthopédique et traumatologique, service de chirurgie de la main, cinq unités de kinésithérapie de spécialités différentes,
- Ecole de Kinésithérapie de Grenoble
- L'Escale –Service de rééducation pédiatrique, hospices civiles de Lyon,
- Unité de gastroentérologie de l'hôpital Edouard Herriot à Lyon
- Institut d'Education Motrice, IEM-APF Eybens (38) et Grenoble
- Institut Médico-Pédagogique Ninon Vallin de Grenoble
- Service d'Accueil de Jour (SAJ) d'Eybens (38), foyer de vie pour PSH adultes

Mes activités également très nombreuses dans le cadre de l'association AE2M sont dorénavant reconnues dans l'agglomération grenobloise. Concerts, exposition, démonstrations de systèmes ergonomiques, participations à des salons (principalement musique, handicap) sont organisés pour diverses occasions telles que la fêtes de la science ou le mois de l'accessibilité de Grenoble depuis 2007. Toutes les occasions sont bonnes pour diffuser et communiquer la joie des PSH à pratiquer la musique collectivement.

Dans le cadre de mon implication dans la mission handicap à Grenoble INP, des actions de sensibilisations des étudiants sont co-organisées depuis 2009 avec 3 universités et des entreprises du bassin grenoblois. J'y reviendrai plus tard dans ce chapitre dans la partie «Mission Handicap».

#### b. Implications dans la vie scientifique et responsabilités collectives

Cette section montre que j'ai été très impliqué dans la vie et la représentativité locale et nationale de mon laboratoire de recherche dès mon arrivée en thèse de doctorat. Je souligne également mon implication immédiate dans la vie du laboratoire G-SCOP dès sa création en 2007 et mon implication forte dans la mission handicap de Grenoble INP dont je suis à l'origine de la création. Mes activités de recherche me valent d'être sollicité comme reviewer pour quelques conférences internationales de grande réputation.

Je suis également impliqué dans des activités de recherche et association au niveau national et je suis surtout très actif à Grenoble INP, dans l'école de Génie Industriel et au laboratoire G-SCOP pour

développer les relations avec le Brésil tant pour les échanges académiques que pour développer les collaborations de recherche.

#### *Pendant mon doctorat*

- Membre élu au conseil du Laboratoire d'Automatique Industrielle – LAI (du 1/10/2000 au 30/09/2004)
- Représentant du LAI à l'Ecole Doctorale Electronique Electrotechnique et Automatique (2000/2001)
- Représentant élu des doctorants pour l'Ecole Doctorale Electronique Electrotechnique et Automatique (2000/2001)
- Président du comité d'organisation d'INTERSCIENCES2002 le 4 avril 2002, 100 posters de doctorants exposés, deux tables rondes sur l'insertion professionnelle, budgets de 4200€)
- Président du comité d'organisation de la journée «Objectif Thèse» le 20 mars 2003 (information pour le second cycle de ce qu'est une thèse, comment rechercher un financement de thèse, informations sur les Ecoles Doctorales, budget de 4100€)
- Président du comité d'organisation des JJCR'16 à Lyon les 16 et 17 septembre 2002 (30 participants, recherches de sponsors, budget de 2000€, réservation salles, restaurants, etc.)

#### *Autres responsabilités*

- Membre actif (2000-2001), vice-président (2001-2002) puis président (2002-2003) de l'Association des Doctorants de l'INSA de Lyon (ADIL), membre du CA (2001-2004)
- Membre actif des Journées des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR) (2000-2005)
- Membre actif et trésorier de l'Initiative Lyonnaise des Associations de Doctorants – ILYAD (création et mise à jour régulière du site Web) (2002-2003), membre du CA (2003-2004)
- Membre du CA de l'Association des Doctorants Scientifiques Lyonnais (2003-2004)
- Création du site Web des JJCR'16 à Lyon (2002)

#### *Formations Complémentaires*

- Doctoriales de Grenoble, 24-29 mars 2002
- Stages de Monitorat (8 à 10 jours de stage par an pendant les trois ans de monitorat)

#### *En tant qu'enseignant-chercheur*

- Membre élu du Conseil de Grenoble INP – GI (2009 – 2012)
- Membre élu du Conseil du laboratoire G – SCOP (2007 (création) – 2014)
- Animateur des séminaires de recherche de l'équipe Conception Collaborative au laboratoire G-SCOP (2014 – en cours)
- Activités de Reviewing pour les Conférences Internationales suivantes :  
IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego, California, USA (2007) ; CIRP Manufacturing System Conference (2009) ; ICORR, the International Conference on Rehabilitation Robotics, Kyoto, Japan (2009) ; IEEE International Conference on



Robotics and Automation, Kobe, Japan (2009) ; CIRP Journal, Sustainable Manufacturing (2010) ; ICRA, The International Conference on Robotics and Automation, Shanghai (2011) ; Orthopedic and Traumatology (2011) ; HCSE ,International Conference on Health Care Systems Engineering, Milan (2013) ; TFTD, The Future of Transdisciplinary Design, University of Luxembourg (2013) ; ICRA, Houston (2015); IROS, Hambourg (2015) ; TMCE, Aix-en-Provence (2016), Handicap 2016, Paris (2016) :

- co-organisateur d'événements scientifiques :  
CFM, Congrès Français de Mécanique, Grenoble (2007) ; IDMME, Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Grenoble (2006) ; CIRP MS, Collège International pour la Recherche en Productique Manufacturing systems (2009), Workshop PUBLISH-ED (2016)
- Consultant expert scientifique pour le Conseil National du Développement Scientifique et Technologique du Brésil (CNPq – équivalent du CNRS) depuis janvier 2015
- Désigné par le CA restreint de l'ENSAM, membre d'un comité de sélection pour le recrutement d'un MCF affecté à l'ENSAM Aix-en-Provence (2016)
- Membre du groupe de travail national STIC-Santé spécialité "Analyse, modèles et outils pour les handicaps : Approche pluridisciplinaire"
- Membre du Groupe de Recherche national STIC-Santé, spécialités "Apprentissage et assistance aux gestes médico-chirurgicaux" et "Analyse, modèles et outils pour les handicaps : Approche pluridisciplinaire"
- Membre du Conseil d'Administration (CA) et animateur scientifique de l'Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Technique pour le Handicap (IFRATH) (2012 – en cours)
- Chargé de mission handicap à Grenoble INP (depuis la création du poste 2008 à ce jour) – membre et animateur de plusieurs conseils et groupes de travail dans l'établissement et dans l'agglomération grenobloise
- Membre du conseil de l'Ecole de Génie Industriel de Grenoble INP (2010 – 2012)
- Chargé de mission aux relations internationales, responsable des relations avec l'Amérique du Sud, et départs et accueils des étudiants dans la filière Ingénierie de Produits de l'Ecole de Génie Industriel (2008 – en cours)
- Initiateur et responsable français du programme BRAFITEC incluant les universités brésiliennes UNESP, UFPE, UFPB et françaises Grenoble INP, UTBM et Université de Lorraine (2008 – responsabilité en cours)
- Initiateur et co-responsable du programme BRAFITEC incluant les universités brésiliennes UNICAMP et UFCG et françaises Grenoble INP et Université Technologique de Compiègne (2010 à 2014)
- Responsable de plusieurs unités d'enseignements (UE) dans le département d'ingénierie du produit à Grenoble INP – Génie Industriel
- Professeur référent pour les UE suivantes : mécanique en première année (1A) ; mécanique en 1A par apprentissage ; Projet Bachelor en 1A (création de l'UE en 2015 – 2016) ; Produits du Futurs : Produits, environnement et usagers en 2A dans la filière Ingénierie du Produit (IdP)

- Référent pour les étudiants à la recherche de stage de 2ème année ou de fin d'étude. Travail consistant à relire les CV et lettres de motivation et à conseiller les étudiants pour leur démarche auprès des entreprises.

### c. Mes implications dans l'association AE2M

L'objectif premier de l'association AE2M est de mettre à disposition de PSH moteurs (principalement Infirmités Moteuses Cérébrales (IMC) et myopathes) des interfaces mécaniques et/ou électromécaniques leur permettant de jouer un ou plusieurs instruments de musique avec le même niveau d'autonomie que les enfants valides [OU 2]. Il s'agit de produire des sons acoustiques et de mettre tout en œuvre pour que la PSH puisse agir elle-même volontairement sur l'instrument. Le présent projet a donc pour objectif la manipulation d'instruments de musique acoustiques, directement ou via des interfaces ergonomiques.

Dans le cadre des travaux en collaboration avec l'IEM-APF (Association des Paralysés de France) d'Eybens (38), nous avons pu faire un travail transversal en impliquant tout le corps universitaire : élèves-ingénieurs, enseignants chercheurs, ingénieurs et techniciens. Depuis le début de ce travail de conception d'adaptations ergonomiques de matériel musical pour les PSH, l'accent a toujours été mis sur une complémentarité des compétences et sur une méthodologie adaptée. Ainsi, les conditions nécessaires au bon déroulement des projets sont clairement discutées avant chaque nouvelle étude.

Grâce aux éclairages des ergothérapeutes lors des réunions de travail avec les enfants, il a été décidé de ne pas proposer d'emblée une solution adaptée à un groupe d'enfants mais il a été choisi comme première approche de travail de se concentrer sur un enfant et son handicap. Il est à noter que dans un nombre de cas non négligeable, une modification mineure et bien réfléchie d'une partie du système pourrait permettre à un public beaucoup plus large de s'en servir. Toutes les études de l'Association AE2M sont pensées dans cette optique. Dans cette démarche, le cahier des charges de chaque projet de prototype est soumis aux critiques et à l'approbation de chacun des spécialistes : musicien/ergothérapeute/ingénieur.

Les acteurs de terrain de ce travail proposent une représentation des interactions avec la PSH sous la forme d'un triangle de compétences (figure 1). Les grands champs d'action représentent les compétences nécessaires pour un bon déroulement du projet.

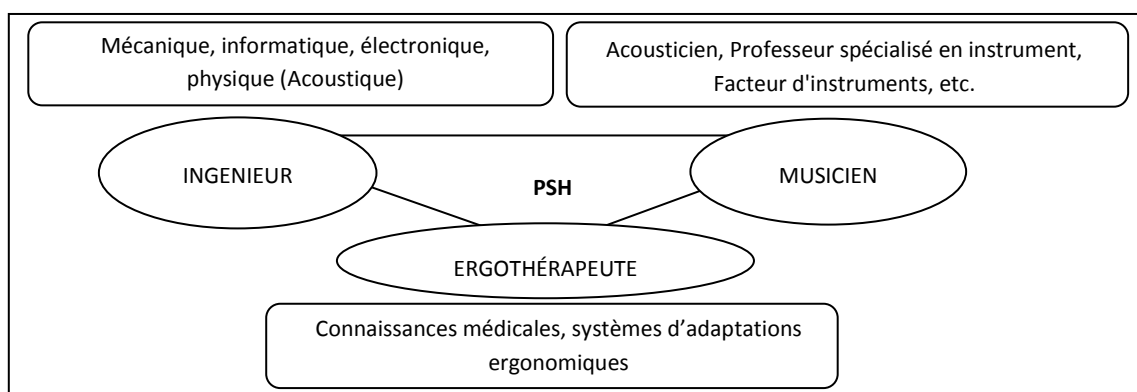


Figure 1. Triangle de compétences proposé par les acteurs de l'association AE2M

Il a été très important de formaliser ce triangle de compétences pour les musiciens/ingénieurs-chercheurs/ergothérapeute – métiers du paramédical œuvrant à la conception et la mise à disposition

de ces systèmes. Pour eux, il illustre bien l'interdisciplinarité toujours présente avec la PSH pour arriver à une solution ergonomique, technique et musicalement satisfaisante.

Lors de toutes les études réalisées, la concentration se porte sur le contexte environnemental lié à la PSH et ses compétences ou aptitudes lors de l'activité musicale. Ainsi, quelle que soit l'étape du processus de conception de matériel ergonomique, les actions nécessaires à sa progression gravitent autour de lui. Par exemple :

- l'analyse du geste musical et les capacités physiques de l'enfant peuvent éventuellement être liées,
- il faut prendre en compte tout l'environnement de travail de l'enfant (fauteuil, verticalisateur, tablette, joystick de commande du fauteuil, établissement d'accueil, salle de concert ...) pour que le système puisse s'y intégrer naturellement,
- des contraintes de temps d'installation du système, de coût, de transport, etc. doivent être prises en compte.

Je décris plus précisément quelques exemples de systèmes développés dans le cadre de projets de conception AE2M dans le chapitre 2, section E. Des activités de recherche effectuées avec les PSH y sont également décrites pour comprendre les méthodologies et théories associées. A noter que JC et moi-même sommes Vice-présidents de l'association AE2M depuis sa création.

#### **d. La mission handicap de Grenoble INP**

De par mon implication dans le domaine du handicap dès 2006 à Grenoble INP et mes efforts pour diffuser et communiquer les actions qui y sont liées, j'ai été nommé en 2008, *chargé de mission Handicap*, un nouvel axe de travail soutenu par l'établissement. Cette mission comporte principalement (1) un axe orienté vers les étudiants en situation de handicap (accueil, aménagement, tutorat industriel, accès à l'environnement pédagogique, convention avec les entreprises pour suivi personnalisé, insertion professionnelle, accueil de stagiaires, etc.) et les projets pédagogiques liés, et (2) un axe lié aux personnels (recrutements de travailleurs handicapés, formation et sensibilisation des personnels, mise en conformité des infrastructures, Reconnaissance en Qualité de Travailleurs Handicapés, sous-traitance et relations aux établissements spécialisés (ESAT et EA), diagnostic, etc.).

L'Etablissement exprime depuis 2009 ans des motivations à s'investir dans cette thématique sociétale. Un certain nombre de travaux a été lancé en 2010 et la charge de travail liée à cette activité est importante (mais passionnante) pour changer les préjugés et faire évoluer les regards. Mes actions dynamiques, concrètes et porteuses dans l'établissement et auprès de l'équipe présidence ont permis l'embauche dans l'établissement en octobre 2011, d'une personne à mi-temps sur cette thématique puis à plein temps à partir de septembre 2014. Nous avons progressé régulièrement dans notre organisation interne (au niveau des Ressources Humaines de Grenoble INP) tout en restant très actifs et proches des besoins et des retours d'expérience des personnels et étudiants. Ceci se traduit notamment par l'organisation de manifestations annuelles régulières.

Grenoble INP accueille des étudiants en situation de handicap depuis de nombreuses années. Depuis 1995, un référent handicap accueille ces étudiants et les accompagne dans le déroulement de leurs études. En 2009, une très importante réflexion en interne a abouti à la mise en ligne sur le site Web de Grenoble INP d'un premier réseau de pages dédiées à cette mission. A partir de 2010, une structure plus organisée s'est progressivement dessinée. En septembre 2012, une commission

handicap a été mise en place, regroupant des représentants des étudiants et des personnels. Sous mon impulsion et celle de la vice-présidence des Ressources Humaines, cette commission, co-animée par la Direction des Ressources Humaines, a eu comme première mission de travailler à l'élaboration du premier schéma directeur handicap de l'établissement 2013-2015. Plusieurs groupes de travail émanant de la commission handicap se sont réunis tout au long de l'année 2012-2013 afin de proposer le périmètre et les thématiques prioritaires. Celles-ci ont fait l'objet de présentations et validations dans les différentes instances de l'établissement. Les thématiques définies pour ce plan triennal portent sur :

- le pilotage, la coordination et l'animation du plan handicap au sein de l'établissement,
- l'accompagnement à la Reconnaissance de la Qualité de Travailleur Handicapé (RQTH),
- la sensibilisation, la communication et la formation autour du handicap,
- le recrutement, l'intégration et la gestion des personnels et des étudiants en situation de handicap,
- la sous-traitance auprès du Secteur Protégé et Adapté,
- les mesures pour les personnes ayant un conjoint ou un enfant en situation de handicap,
- les mesures en faveur de l'amélioration de l'accessibilité des bâtiments, du savoir et de l'information dans l'établissement.

L'échéance de décembre 2015 a permis la présentation du schéma directeur 2016-2018 sur lequel nous sommes déjà en train de travailler avec plus de 50 personnels de l'établissement. Ceux-ci pilotent ou participent à des groupes de travail que je supervise avec l'aide du Comité de Pilotage handicap (COFIL) de l'établissement.

Six années de travail en tant que chargé de mission handicap à Grenoble INP ont permis à l'établissement d'être connu et reconnu en France comme une référence dans cette thématique. L'accueil et la gestion des personnels et étudiants en situation de handicap, les actions autour des mises aux normes des infrastructures (Agenda d'Accessibilité Programmé – Ad'AP en 2015), les actions de sous-traitances auprès d'Etablissements Adaptés (EA) et Etablissements et Services d'Aide par le Travail (ESAT), l'insertion professionnelle des étudiants en situation de handicap, les actions de formations, de sensibilisation, de communication, de recrutement, les aides auprès des personnels ayant un conjoint ou un enfant en situation de handicap illustrent par exemple la complexité de cette activité et son importance pour chaque individu dans sa situation personnelle et professionnelle.

Nous avons défini et formé des réseaux de correspondants handicap pour les personnels, et pour les étudiants. Nous avons sensibilisé et nous organisons annuellement des sessions de sensibilisation des managers au recrutement, à la gestion de l'accueil et du maintien dans l'emploi d'un personnel en situation de handicap. Nous organisons des sessions annuelles pour former les enseignants et des personnels de scolarité à l'accueil des étudiants, etc. Ces actions de formation et de sensibilisation ont bien entendu nécessité le choix et la participation d'experts extérieurs à l'établissement. Petit à petit, un réseau de confiance s'est créé avec d'autres structures de la fonction publique (mairie, collectivités, etc.), et évidemment avec les autres universités de Grenoble. Ainsi, ce fut tout naturellement que nous avons organisé en 2011 un groupe de réflexion «Fonction Publique et Handicap», ouvert aussi aux fonctions publiques d'état et hospitalières, qui se réunit tous les trimestres environ et que je pilote encore actuellement.

Ma très forte implication dans l'Association AE2M, ma position de chargé de mission à Grenoble INP et mes activités de recherche dans ce domaine me permettent d'avoir une vue claire des possibilités de collaborations très valorisantes pour tous, entre milieux institutionnel et associatif, milieux éducatif et universitaire, le milieu de la recherche et celui de la valorisation et de la diffusion.

C'est notamment dans ce contexte que nous avons proposé à partir de l'année universitaire 2009-2010, une action forte de sensibilisation de tous les étudiants de Grenoble INP à l'insertion professionnelle des PSH. Tout d'abord liée à l'association nationale Companieros, cette action, très appréciée des très grandes entreprises de la région, a progressivement été organisée en collaboration avec l'UPFM et Sciences Po Grenoble (IEP) indépendamment de Companieros. Depuis septembre 2011, l'action annuelle intitulée **Grenoble Handi'Mention** est conjointement organisée (avec l'UPMF et l'IEP) et attire associations, entreprises et experts du recrutement et de l'insertion professionnelle des PSH. Pour un budget moyen annuel de 16 000 euros, nous organisons avec des étudiants, trois semaines pour leur apporter les connaissances de base du manager de demain maîtrisant ces compétences et connaissances législatives.

#### 4. Rayonnements

##### a. Rayonnement local

Comme je l'explique dans la section précédente de ce document, de par mes nombreuses implications professionnelles et personnelles sur la thématique du handicap et de la chirurgie, le rayonnement local concernant cet axe de mon travail est très important, tant au niveau associatif, institutionnel, universitaire, qu'industriel.

Avec la mission handicap de l'UPMF, de l'IEP et 9 entreprises partenaires, nous avons signé cette année encore une convention sur la thématique du handicap. Elle comporte non seulement des éléments sur l'insertion professionnelle des travailleurs situation de handicap, mais aussi sur la sensibilisation des élèves ingénieurs, l'accompagnement par la scolarité, le parrainage d'étudiants, etc. Notre volonté est de fédérer localement une émulsion entreprise-université autour de cette thématique.

Mes activités de conception d'instruments chirurgicaux me permettent d'être identifié comme acteur de la conception de produits dans la structure ECCAMI (Excellence Center for Computer Assisted Medical Intervention) inaugurée en juin 2011. J'ai également été invité plusieurs fois pour des présentations ou pour animer des tables rondes lors des colloques tels que *Tech'n Use* ou *Grenoble Interdisciplinary Day* co-organisés par la Structure Fédérative de Recherche (SFR) INNOVACS (Innovation, Connaissances et Société). Elle a pour objectif de réunir l'ensemble des acteurs du site grenoblois souhaitant travailler sur les questions relatives à l'Innovation, avec en perspective les trois grands enjeux sociétaux de référence de l'Opération Campus : Planète durable, l'Information et la Santé.

Les activités de l'Association AE2M sont largement connues et reconnues dans la région grenobloise de par nos nombreux concerts, expositions photos, participations à manifestations et stands de démonstrations de matériels ergonomiques pour tous les publics (Téléthon, Mois de l'accessibilité ville de Grenoble, fête de la Science, etc.). Ces activités de conception concrètes auprès de PSH et directement liées à des réflexions méthodologies (musique et handicap) me valent notamment d'être très sollicité pour participer à des projets de recherche locaux, régionaux et nationaux.

### b. Rayonnement national

Je suis membre du CA de l'Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques pour personnes Handicapées (IFRATH, <http://ifrath.fr/>) depuis septembre 2012. L'IFRATH est une Société Savante constituée sous la forme d'une association (loi 1901). Elle rassemble des chercheurs, des utilisateurs et des industriels ayant décidé de mettre en commun leurs compétences afin de créer des synergies permettant de favoriser l'avancement des recherches technologiques et méthodologiques se rapportant aux différents handicaps physiques, sensoriels et cognitifs. Elle organise alternativement la conférence *Handicap* et la conférence *Jeunes Chercheuses Jeunes Chercheurs* (JCJC). Les réunions trimestrielles sont l'occasion d'échanger sur des thématiques données en invitant des experts de milieux professionnels divers. J'ai ainsi eu l'opportunité de proposer l'organisation d'une session sur «les méthodologies pour la conception des aides techniques» en octobre 2014. Durant cette session l'objectif était de faire se rencontrer des ergothérapeutes, des ingénieurs et chercheurs en conception de produits pour le handicap pour discuter des approches méthodologiques et courants théoriques mobilisés dans chacun des domaines.

Je suis présent dans le GDR STIC-Santé sur deux thèmes liés aux activités de recherche (chirurgie et handicap). L'association AE2M est également présente au sein du réseau des signataires de la charte Musique et Handicap, sous le patronage du ministère de la culture.

### c. Rayonnement international

Les noms des principaux collaborateurs de recherche sont donnés dans la partie E de ce chapitre : Mes activités de recherche actuelles.

Les travaux menés dans le domaine de la conception d'instruments chirurgicaux ont été effectués en collaboration avec l'Université Technologique de Delft et notamment avec des chercheurs du programme de Recherche **MISIT (Minimally Invasive Surgery and Interventional Techniques)**. Le département de Biomechanical Engineering mène ce programme de recherche en impliquant des étudiants de master et de troisième cycle dans la phase de conception d'outils chirurgicaux en lien fort avec les industriels et les équipes chirurgicales. Deux publications scientifiques illustrent d'ailleurs cette collaboration [CI 20] [CI 21].

Mais mon rayonnement international est très largement orienté vers le Brésil. Ma première implication a concerné la rédaction d'un projet de collaboration BRAFITEC (BRASil France Ingénieurs TEChnologie) avec une université brésilienne début 2008 (UNESP). Ce programme permet aux écoles d'ingénieurs françaises et aux universités brésiennes d'envoyer et de recevoir des étudiants et des enseignants dans les domaines de l'ingénierie. Le programme BRAFITEC est placé sous la responsabilité d'un Comité mixte de pilotage comprenant, pour la France, le Ministère des Affaires Etrangères (MAE) et le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui de la Conférence des Directeurs des Ecoles Françaises d'Ingénieurs (CDEFI) et, pour le Brésil, le Ministère de l'éducation (CAPES, agence nationale chargée de la coordination du personnel de l'enseignement supérieur).

Je suis encore actuellement le responsable français de ce projet piloté par Grenoble INP – GI qui a fonctionné durant deux années avec l'UNESP comme unique partenaire brésilien. En 2010, nous l'avons étendu à 2 universités brésiennes (UNESP, UFPB) et impliquant également l'Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes et de l'Innovation (ENSGSI) (appartenant à l'Université de Lorraine (UdL)), sous la dénomination «*Aspects inter culturels: le génie industriel et l'innovation technologique*». J'ai rédigé la même année un autre projet BRAFITEC impliquant, en plus de Grenoble

INP, l'Université Fédéral de Campina Grande (UFCG), l'Université d'Etat de Campinas (UNICAMP) avec l'Université Technologique de Compiègne (UTC) sous l'intitulé «*Des formations scientifiques et culturelles complémentaires au service du partenariat industriel*» pour lequel j'ai été responsable en 2011 et 2012. Dans ce cadre du montage de ces projets, j'ai déjà effectué 3 courts séjours au Brésil et j'ai décidé de prendre dans la foulée des cours de portugais à l'université de Grenoble en vue des séjours plus longs et réguliers. Ces deux programmes ont fonctionné chacun durant 4 années et nous avons décidé de les renouveler pour fonctionner de nouveau à partir de janvier 2015. J'ai alors décidé de me concentrer sur un partenariat plus ciblé et de ne conserver que la responsabilité du projet avec l'UNESP et l'UFPB.

Ma décision de réaliser un Congé pour Recherche et Conversion Thématique (CRCT) durant l'année universitaire 2013-2014 avait pour objectif d'initier des activités de recherche avec des collègues brésiliens. J'ai ainsi monté avec les partenaires enseignants-chercheur de l'UNESP et de l'UFPB, des dossiers scientifiques qui m'ont permis d'être accueilli en tant que professeur invité durant 3 mois dans chacune de ses deux universités.

#### *l'UNESP*

J'ai effectué un séjour de trois mois à l'UNESP sur le campus de Guaratingueta (Faculté d'Ingénierie de Guaratingueta – FEG) dans le Département de Mécanique, du 15 septembre au 15 décembre 2013. J'ai pu bénéficier d'une bourse de professeur invité dans le cadre d'un programme de «Chaires Françaises dans l'état de Sao Paulo», cofinancée par le Consulat de France à Sao Paulo. Durant ce séjour, j'ai notamment été responsable d'une activité pédagogique dans laquelle j'ai donné 66h (équivalent TD) d'enseignement à orientation biomécanique à des étudiants de troisième cycle. Ces étudiants sont par ailleurs professionnels éducateurs sportifs et kinésithérapeutes. J'ai pu également co-encadrer une étudiante de Master Recherche (spécialité Sémiologie) et participer au jury de qualification et au jury final. Durant cette période, je me suis aussi impliqué dans deux travaux de thèse. Les démarches entreprises ont permis d'obtenir des financements pour chacun d'eux pour effectuer une année de doctorat sandwich respectivement au laboratoire G-SCOP (Vania Dos Deis Miranda) et au laboratoire TIMC-IMAG (Marcel Guimaraes).

Durant mon séjour à l'UFPB début 2014, je suis également retourné plusieurs fois à l'UNESP pour continuer à travailler notamment sur la conception et la fabrication d'une plate-forme de force, la rédaction d'articles scientifiques, rencontrer des étudiants et des professeurs et effectuer des conférences et présentations.

Durant les deux mois de septembre et octobre 2014, le professeur José Elias Tomazini, qui m'a accueilli à l'UNESP durant mon séjour de trois mois fin 2013, a pu obtenir une bourse de son université pour travailler deux mois au laboratoire G-SCOP. Il est le directeur de thèse de Vania Dos Reis Miranda qui a effectué sa thèse sandwich au laboratoire G-SCOP entre juillet 2014 et juin 2015. Ensemble, nous avons pu travailler et développer les activités de recherche en collaboration avec la plate-forme technologique GI-Nova, notamment sur la construction de la nouvelle plate-forme de force connectée à la Kinect.

En mars 2015, j'ai demandé et obtenu un financement d'une durée de deux semaines pour organiser et animer un workshop de deux journées dans le programme de troisième cycle en Sémiologie de la FEG/UNESP. Suite à ce workshop, j'ai été sollicité pour mettre en place une première équipe multidisciplinaire pour la pratique musicale instrumentale pour les PSH avec une importante association nationale (APAE : *Associação de pais e amigos dos excepcionais* ou *association des parents*

*et amis exceptionnels*) très active à Guaratingueta. L'équipe qui œuvre actuellement à l'UNESP est pour le moment constituée de deux professeurs du département de mécanique, un professeur du département d'électronique, un professeur de Génie industriel et une kinésithérapeute qui encadrent des groupes d'étudiants en cursus ingénieur. Cette équipe est très soutenue par le service culturel de la ville et des conventions de collaboration ont déjà été signées entre l'université et l'APAE. Je collabore actuellement avec un groupe d'étudiants en Master1 qui doit concevoir une première interface adaptée (à partir d'un modèle fourni par l'association AE2M) pour un résident de l'APAE.

Un professeur invité du département de mécanique devrait venir effectuer un séjour d'un mois au laboratoire G-SCOP durant 2016 (Marcelo Sampaio Martins). Un étudiant de Grenoble INP – GI est allé effectuer un double diplôme à l'FEG/UNESP dans le département de mécanique (Bastien Hardouin). Il effectue des stages avec des étudiants de troisième cycle en Sémiologie. Je le co-encadre avec mes collègues brésiliens.

En 2013, nous avons signé un renouvellement du Double Diplôme, pour 5 années, impliquant tous les départements de nos deux institutions. Tout est a priori réuni pour que les activités de collaboration s'installent durablement entre nos institutions et structures de recherche.

### *l'UFPB*

Lors de mes trois mois de présence au département de Génie Industriel du Centre et Technologie (CT) de l'UFPB, ma principale activité a été l'organisation et l'animation d'un cours optionnel de 67h (équivalent TD) intitulé «Méthodologie de projet multidisciplinaire centrée sur la technologie d'assistance», que nous avons déjà commencé à structurer à distance avant mon arrivée sur place. Ce cours a comme objectif de structurer les travaux d'étudiants et professeurs de niveaux et de départements différents, sur la conception et la réalisation de produits d'assistance pour des PSH. Nous avons pour cela à notre disposition une machine de prototypage rapide de type stéréolithographie. Ce cours a été pour l'université une première expérience d'activité réellement interdisciplinaire lors de laquelle les départements de génie industriel, mécanique, électronique, ergothérapie et kinésithérapie travaillaient ensemble. Lors de chaque séance hebdomadaire de 4h, une conférence initiale était proposée par un professeur d'un département pour expliquer son approche de processus de conception et la prise en compte de l'utilisateur dans la démarche. J'ai co-organisé cette activité pédagogique avec un professeur d'ergonomie et un professeur de Génie Industriel. 54 étudiants dont 12 professeurs s'y sont inscrits. 7 projets de conception se sont déroulés et chacun a pu rencontrer plusieurs fois les utilisateurs, créer des prototypes et les expérimenter dans le contexte d'utilisation. Cette expérience reste pour moi inoubliable tant du point de vue de la découverte culturelle avec les professeurs et étudiants que dans l'implication et la motivation de tous dans les projets de conception.

Durant cette période, j'ai également co-encadré deux travaux de Master Recherche et fait partie du jury de qualification et du jury final de l'un d'entre eux. Un des deux étudiants a obtenu un financement de doctorat plein en France dans le cadre du programme Sciences sans Frontières (Glauco Silva) et un autre est encore en attente (Eliza Oliveira). Marcel De Gois Pinto, actuellement en thèse de doctorat avec moi à G-SCOP est par ailleurs professeur au département de Mécanique et Génie Industriel de l'UFPB. Un autre professeur du département de Design avec qui j'ai beaucoup travaillé durant mes trois mois au Brésil a également obtenu une bourse pour effectuer trois années de doctorat au laboratoire G-SCOP, il y est arrivé en juillet 2015 (Kleber Barros). J'ai également pu accueillir un autre professeur du département de Design de l'UFPB durant deux journées à Grenoble INP – GI et à



G-SCOP (Renato Fonseca). Journées durant lesquelles nous avons rencontré des chercheurs et effectuer des présentations auprès d'étudiants de Grenoble INP – GI.

Cette période m'a également permis de visiter et d'intervenir dans plusieurs départements de l'UFCG et dans l'Université d'Etat de Paraíba (UEPB). C'est notamment par des chercheurs du domaine médical de l'UEPB que je suis invité pour animer un workshop et présenter une conférence plénière en novembre 2015 sur la thématique de l'innovation et l'impression 3D en chirurgie.

Lors de mon passage à l'UFPB, j'ai effectué de nombreuses présentations de recherche et d'enseignement dans des départements de formation différents. J'ai eu aussi l'occasion de visiter l'Université Fédérale de Pernambuco (UFPE) et d'y rencontrer des professeurs des départements de design, mécanique, électronique et génie industriel. Les discussions riches et l'enthousiasme réciproque nous a notamment permis de proposer à deux départements de l'UFPE (Génie Industriel et Design Industriel) de rejoindre le projet BRAFITEC pour son renouvellement en 2015. C'est ainsi que j'ai rédigé et validé avec un collègue du département d'électronique de l'UFPB (Antonio Augusto Souza), le nouveau projet BRAFITEC qui a été accepté en 2015 pour un fonctionnement pour 4 années, intitulé *«Interdisciplinarité dans les domaines de la conception, des systèmes de production et de l'énergie»*. Ce programme intégrant pour la première fois des départements de Design brésilien, j'ai proposé d'y intégrer aussi un département correspondant de l'Université Technologique de Belfort Montbéliard (UTBM). Lors de la rentrée de septembre 2015, six étudiants de l'UFPE et de l'UFPB ont débuté une année d'échange au département de «Ergonomie, Design et Ingénierie Mécanique» de l'UTBM.

Ces activités et relations professionnelles orientent très clairement mon rayonnement international vers le Brésil. J'ai pu rencontrer de nombreux enseignants-chercheurs dans d'autres universités et initier des discussions dans mes domaines de prédilection. Avec l'Université Fédérale de Sao Carlos (UFSCar), l'UNICAMP, l'Université Fédérale de Rio Grande do Sul (UFRGS) et l'Université Fédérale de Rio Grande do Norte (UFRN) dans lesquelles j'ai effectué au moins deux journées de visites et de discussion, les possibilités de collaborations sont réelles. Toutes les personnes rencontrées dans ces universités sont extrêmement motivées pour démarrer des travaux, elles sont d'autant plus motivées que je parle portugais couramment et que cela facilite grandement les discussions et le montage de projet. Avec des départements de l'UNICAMP et l'UFRGS, j'ai initié des projets scientifiques impliquant en première ligne des collègues de G-SCOP (Jean Bigeon et Lilia Gzara équipe «Système d'Information et conception RobustE des Produits» et Marie-Anne Le Dain équipe «Conception Collaborative»). Les échanges ont débuté et des travaux sont maintenant lancés.

Pour finir, je tiens à signaler que j'ai été contacté en mai 2015 par le Conseil National du Développement Scientifique et Technologique (CNPq, qui est au Brésil ce que le CNRS est à la France) pour devenir membre expert pour l'évaluation des projets soumis à l'Institut National des Sciences et Technologies (INCT, notre AERES français). Ceci représente réellement une reconnaissance de la part de la plus grande instance de recherche au Brésil et me motive encore plus pour m'investir dans des programmes avec des partenaires brésiliens.

Le tableau 9 ci-dessous résume les séjours effectués au Brésil dans le cadre de mes activités professionnelles.

années	Lieux	activités	Durée séjour
2011	Porto Alegre	Forum BRAFITEC	6 jours
2012	PSA Sao Paulo FEG/UNESP, Guaratingueta UFPB, Joao Pessoa	Visite stagiaire PFE Rencontres partenaires universitaires brésiliens	8 jours
Juin 2013	FEG/UNESP, Guaratingueta UFPB, Joao Pessoa Balo Horizonte	Rencontres partenaires universitaires brésiliens Rencontres partenaires universitaires brésiliens Forum BRAFITEC	7 jours
Sept. 2013	FEG/UNESP, Guaratingueta	Recherche et enseignement	3 mois
Avril 2014	UFPB, Joao Pessoa	Recherche et enseignement	3 mois
Avril 2015	FEG/UNESP, Guaratingueta	Recherche et Séminaire	15 jours
Juin 2015	Curitiba FEG/UNESP, Guaratingueta UFPB, Joao Pessoa	Forum BRAFITEC Recherche et rencontres partenaires Recherche et rencontres partenaires	9 jours
Nov. 2015	Campina Grande UFPB, Joao Pessoa UFPE, Recife	Workshop et Séminaire de recherche Recherche et rencontres partenaires Recherche et rencontres partenaires	8 jours

*Tableau 9. Récapitulatif des séjours au Brésil dans le cadre des relations établies avec nos partenaires*

Les forum BRAFITEC sont organisés tous les deux ans et donnent l'occasion aux partenaires de se rencontrer pour échanger sur les processus et critères de sélection des étudiants français et brésiliens, mais aussi sur des évolutions possibles des relations bilatérales. Mes séjours passés au Brésil m'ont permis d'acquérir une grande connaissance du système d'éducation et de la recherche de ce pays. J'y ai aussi développé des relations avec des entreprises ayant de fortes volontés de s'y développer : Décathlon, FM Logistique, PSA Peugeot Citroën, Schneider Electric par exemple. Ces entreprises sont proches de l'école de Génie Industriel et sont également partenaires des projets BRATIFEC proposés pour les étudiants en échanges. Elles sont dorénavant sources de stages et possibilités d'embauche pour nos étudiants.

## 5. Conclusion

J'ai proposé dans cette première partie une vision globale et relativement exhaustive du déroulement de ma carrière professionnelle et de mes orientations scientifiques. Mon fil conducteur est la conception de systèmes centrés sur l'utilisateur dans le domaine du médical. Plus particulièrement, je cherche à proposer des outils et des méthodes permettant de comprendre et de mieux appréhender la participation des utilisateurs dans les processus de conception des produits. Je souhaite m'approprier les approches méthodologies et théorique associées et d'en proposer éventuellement de nouvelles.

Mes activités associatives et de recherche en lien avec la thématique du handicap et ma forte motivation à communiquer et échanger sur ce sujet m'apportent actuellement surtout des reconnaissances locale et internationale. Les travaux menés récemment avec plusieurs partenaires brésiliens me motivent particulièrement ; j'y reviendrai notamment dans mes perspectives de recherche.

### III. Mes recherches

Ma formation initiale et mes diverses expériences et collaborations professionnelles m'ont amené à me positionner progressivement dans le contexte des approches méthodologiques et processus de conception centrés utilisateurs. Lors de mon travail de doctorat, j'ai découvert les exigences liées aux activités de conception de produit dans le domaine médical. Ce travail de recherche très appliqué techniquement m'a permis également de découvrir les contraintes liées aux collaborations et à l'implication de PH dans les démarches de conception. Pour cela il constitue un point de départ stratégique de mes orientations de recherche théoriques et technologiques.

Cette partie du mémoire détaillera mes expériences de recherche appliquée et l'évolution de ma vision d'enseignant-chercheur. Voici comment il s'articule.

L'état de l'art (1<sup>ère</sup> section) présentera les concepts de base qui animent mes réflexions et à partir desquelles j'organise mes activités. Etant continuellement en relation avec des utilisateurs ayant des besoins spécifiques, nous y trouverons logiquement l'UCD et d'autres concepts permettant de structurer mes expérimentations de recherche dans un contexte fortement multidisciplinaire. Travaillant également sur la modélisation des processus de conception dans le domaine du handicap, cette section présentera quelques courants qui proposent des adaptations de l'approche UCD dans ce domaine.

Mes recherches en robotique chirurgicale (2<sup>ème</sup> section), mais surtout celles auprès d'utilisateurs amputés (3<sup>ème</sup> section) ont fait évoluer ma vision de concepteur par rapport à des utilisateurs spécifiques. Ces expériences en recherche et développement mêlant différentes disciplines scientifiques ont été très formatrices. Les phases de conception, de simulation, de prototypage et de tests constituent ainsi le socle de mes activités. D'un point de vue méthodologique, les relations aux utilisateurs, leurs implications dans le processus de conception et l'expression de leurs exigences implicites ont stimulé mes questionnements.

C'est par l'intermédiaire des expériences en chirurgie orthopédique que des outils et méthodes d'assistance à la conception ont été proposés (4<sup>ème</sup> section). Les exigences des chirurgiens pour la conception d'un nouvel instrument chirurgical ont constitué un contexte favorable à ces réflexions. Non seulement le produit, mais surtout son usage était à définir et valider. Des outils pour préparer les expérimentations en salle d'opération avec des moyens d'observation et d'analyse adaptés ont été définis. De plus des outils technologiques de réalité virtuelle ont été mobilisés pour tenter de reproduire ces activités dans un environnement immersif au profit de l'utilisateur, mais également de l'équipe de conception.

Diverses activités impliquant les utilisateurs en situation de handicap seront présentées en 5<sup>ème</sup> section. Bien que travaillant pratiquement exclusivement avec des PSH moteur, cette section permettra de comprendre que tous ces utilisateurs ont leurs spécificités propres et que les outils et méthodes pour mener les recherches sont à adapter en conséquence. Les connaissances des étapes de l'UCD seront très utiles pour cela. Les objectifs techniques de cet axe de mes recherches étant de leur fournir des interfaces ergonomiques pour la pratique musicale, les exigences fortes de plusieurs axes disciplinaires (musique et paramédical) sont à prendre en compte. Pour les confronter, des séances de travail dont un grand nombre d'expérimentations ont été effectuées avec les utilisateurs. Elles ont permis là aussi de proposer des outils et méthodes d'aide à la conception de systèmes dans ce contexte très contraint. Des exemples de réalisations seront également présentés.

## 1. Etat de l'art

### a. Les concepts inspirant mes recherches

Pour la conception des produits spécifiques auxquels nous nous intéressons, l'utilisateur et ses caractéristiques doivent constituer un support permanent tout au long du processus de conception du produit, non plus pour concevoir pour lui, mais pour concevoir avec lui. Pour cela, nous utilisons comme pilier de notre travail, les approches Conception Participative (PD – Participatory design en anglais) et UCD pour impliquer l'utilisateur dans ce processus de conception et donc être plus proche de ses besoins. Ensuite, dans le but de proposer un environnement de travail collaboratif favorable pour concevoir le produit, la méthodologie Recherche-Action (Action Research en anglais) est mise en place dès que le contexte le permet. Enfin, pour aller encore plus vers l'action de terrain et la mise en place d'expérimentations adaptées, nous avons mobilisé le concept de conception basée sur les scénarios (SBD – Scenario Based Design en anglais).

## User Centered Design

Chaque expérience et chaque activité de recherche sont considérées avant tout comme un travail de conception de produit centré sur l'utilisateur. Elles mobilisent un processus itératif allant de l'observation du terrain et de l'analyse des exigences de l'utilisateur, aux réalisations, expérimentations et évaluation. Ce processus itératif initial est illustré en figure 2 et spécifie les étapes suivantes définies par la norme ISO 2010 [ISO 2010].

- comprendre et spécifier le contexte d'utilisation
- spécifier les exigences de l'utilisateur et de l'organisation
- produire des solutions de conception
- évaluer les conceptions aux regards des exigences

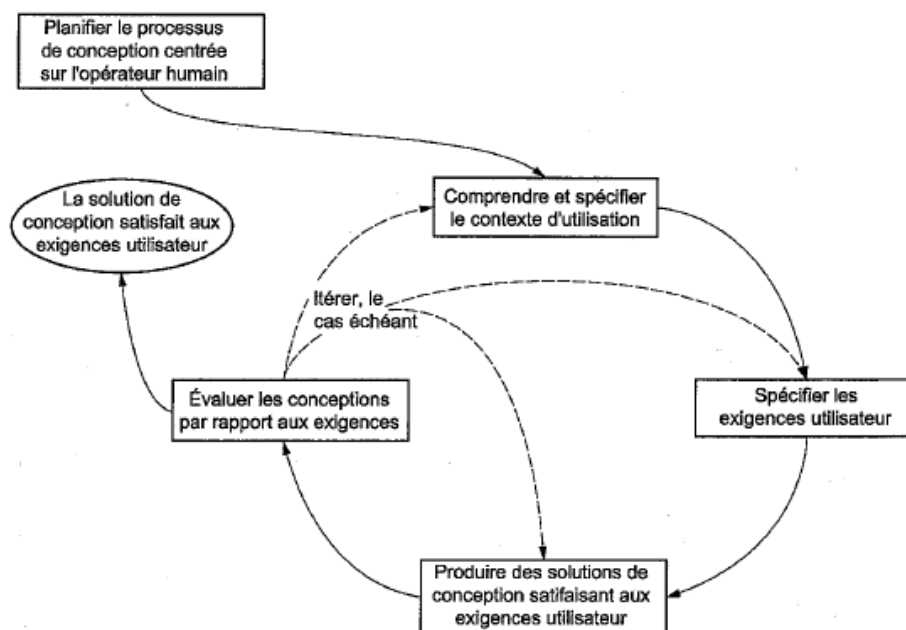


Figure 2. Le processus de conception centrée utilisateur [ISO, 2010]

Je détaille ci-dessous les aspects essentiels de chacune de ces étapes du processus itératif que je revendique connaître et manipuler.

#### Comprendre et spécifier le contexte d'utilisation :

Les caractéristiques des utilisateurs, des tâches et des environnements organisationnels et physiques définissent le contexte dans lequel le système est utilisé. Il est primordial de comprendre et d'identifier ce contexte en détail, afin de guider les premières décisions de conception et définir une base pour l'évaluation.

Il convient de rassembler des informations sur le contexte d'utilisation des produits et systèmes nouveaux. En cas de mise à jour ou d'extension d'un système déjà existant, il convient de vérifier ces informations, si elles existent déjà. Lorsqu'un grand nombre de résultats est collecté par le biais de retours d'informations côté utilisateur, de rapports des groupes d'assistance ou d'autres données, ces résultats servent de base pour définir les exigences prioritaires de l'utilisateur en ce qui concerne les modifications et les changements du système.

Pour concevoir avec les enfants en situation de handicap notamment, un exemple très concret concerne la prise en compte de l'environnement social et sociétal. Cela sera illustré en détail dans la section E.2 de ce chapitre dans laquelle je montre que l'analyse menée a mis en évidence des spécificités contextuelles importantes vis-à-vis des situations familiales, des institutions administratives d'éducation ou encore de la compréhension du handicap et de ses spécificités par les groupes de concepteurs.

#### Spécifier les exigences utilisateur

Dans la plupart des processus de conception, l'une des activités majeures consiste à spécifier les exigences fonctionnelles relatives au produit ou au système. Dans le cas de la conception centrée sur l'opérateur humain, il convient que les exigences liées à l'utilisateur et à l'organisation soient établies et que les objectifs soient fixés en identifiant les compromis entre les différentes exigences. Il convient que cette spécification définisse «l'allocation des fonctions», c'est-à-dire le partage entre les tâches système attribuées à l'homme et celles accomplies par les moyens techniques. Bien sûr, ces exigences doivent être définies selon des termes qui autorisent leur test ultérieur, et confirmées ou mises à jour pendant toute la durée de vie du projet.

La conception de matériel médical spécialisé à destinations des PH impose non seulement une connaissance approfondie du contexte d'utilisation, mais surtout une explicitation précise des exigences. Nous allons voir dans la suite du document (2<sup>ème</sup> section) que les expertises et le savoir-faire des chirurgiens gastroentérologues sont précieux pour identifier les problématiques et tenter de formaliser les exigences. Une analyse mal effectuée du contexte ou des expertises met en péril tout un processus de conception. Nous verrons également que des fonctions définies ou à valider peuvent l'être à différents moments ou lors de différentes itérations du processus de conception.

#### Produire des solutions de conception

Les solutions de conception potentielles sont produites en mettant à profit l'état de la technique, l'expérience et les connaissances des participants, ainsi que les résultats de l'analyse du contexte d'utilisation. Le processus implique donc les activités suivantes.

- Utiliser les connaissances acquises pour mettre au point des propositions de conception à partir de données pluridisciplinaires. Il existe une grande quantité de connaissances

scientifiques et théoriques sur l'ergonomie, la psychologie, les sciences cognitives, la conception de produits et autres disciplines pertinentes, qui peuvent suggérer des solutions potentielles de conception.

- Matérialiser davantage les solutions de conception à l'aide de simulations, modélisations, maquettes et autres formes de prototypes. Elles permettent aux concepteurs d'établir une communication plus efficace avec les utilisateurs et de réduire les coûts de post-production occasionnés, durant toute la durée de vie du produit, par les révisions ultérieures, ce qui, dans certains cas, a lieu après la première présentation aux clients réels.

Les exemples seront nombreux dans la suite du document pour illustrer différents moyens mobilisés pour produire des solutions de conception. De notre point de vue, ces étapes de modélisation, simulation, maquettage et prototypage est centrale dans nos travaux. Nous avons organisé de nombreux temps de discussions avec des spécialistes des domaines de compétences complémentaires pour aboutir à des productions de prototypes ayant les caractéristiques adaptées aux contraintes identifiées. Le triangle de compétences montré en figure 1 illustre bien ce contexte fortement multidisciplinaire mis en place dans le projet musique et handicap.

#### *Evaluer les solutions de conception au regard des exigences*

La dernière étape du cycle est une évaluation centrée sur l'utilisateur. Elle permet aux concepteurs de vérifier si la solution de conception répond aux exigences de l'utilisateur. L'objectif est de fournir un retour rapide sur les avantages et les inconvénients de la solution de conception basé sur le point de vue de l'utilisateur. A cette étape du processus, il convient de définir les parties de la solution de conception à évaluer et la méthode d'évaluation. Les utilisateurs réalisent les tâches à l'aide des solutions de conception. Cette évaluation centrée utilisateur peut aussi être utilisée pour établir une comparaison entre différentes solutions de conception. Si la solution ne répond pas aux exigences utilisateur, les informations collectées lors des évaluations permettent de réorienter la conception. Une nouvelle solution du système sera proposée jusqu'à la satisfaction de ou des utilisateurs et des parties prenantes du projet.

La mise en place de prototypes successifs associée à des environnements de manipulation adaptés sera notamment illustrée dans la section 4 de ce chapitre (pages 76 et 77) aux figures 22 et 23 lors de la présentation des outils d'émulation et de scénarios étendus.

Des approches théoriques mobilisées en présence des PH peuvent aussi l'être avec les PSH [CI 23]. Malgré tout, d'autres recommandations méthodologiques, spécifiquement adaptés à ce contexte et inspirées de l'UCD, ont été proposées dans la littérature. Ainsi, l'UCD a été appliquée dans divers projets de conception de matériel d'assistance comme les robots d'assistance [Colle, 2007] [Robins, 2010], les fauteuils roulants [Pruski, 2007] [Vanhooydonck, 2010], les produits liés à la santé [Das, 2013] [Lerouge, 2013] ou les systèmes pour la rééducation [Lange, 2010] [Lange, 2011]. Dans ces études, la conception de produits centrée utilisateur a permis de faciliter la compréhension des exigences des produits et de rendre le produit plus intuitif pour l'utilisateur. De même, cette approche a permis d'améliorer la facilité d'utilisation, la satisfaction de l'utilisateur, la communication ainsi que les interactions entre les parties prenantes des projets de conception et la performance de l'utilisateur. Malgré cela, ces travaux ne proposent pas de méthodologies pour adapter les produits aux capacités et aux aptitudes motrices des utilisateurs.

D'autres auteurs appliquent cette approche UCD pour la conception d'instruments de musique. Ils combinent l'ingénierie de produit avec des méthodes comme l'analyse sensorielle, dans l'objectif d'optimiser le produit aux perceptions sensorielles et aux préférences des utilisateurs [Poirson, 2007].

### *Participatory design (PD)*

Lorsque la tâche de l'utilisateur n'est pas totalement définie, la conception centrée utilisateur ne suffit plus. Pour définir plus précisément cette tâche, il est nécessaire de faire appel aux utilisateurs non plus seulement pour étudier leur comportement face à une situation donnée, mais en tant que concepteur. Il s'agit alors de *conception participative* (figure 3) [Caelen, 2006] que nous comparons à l'UCD relativement à la participation des utilisateurs dans l'équipe de conception. La démarche de PD propose d'associer les utilisateurs au processus de conception dès le début du projet, en partant du principe qu'ils savent (ou qu'ils sont capables de découvrir) ce dont ils ont besoin, et qu'ils peuvent aussi avoir des idées novatrices [Greenbraum, 1991].

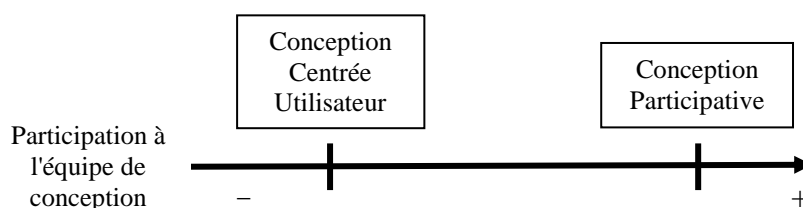


Figure 3. Niveau d'implication de l'utilisateur dans le processus de conception.

La PD est un moyen d'obtenir une meilleure expression des besoins dès le début du processus de conception, en affinant les analyses fonctionnelles et en précisant le cahier des charges du point de vue de l'usage qui sera fait du futur dispositif. Elle incite les développeurs, les utilisateurs, et d'autres spécialités identifiées nécessaires à travailler ensemble pour concevoir une solution [Gerry, 1999]. Ces réflexions sont généralement plus efficaces au début du processus de conception, où les idées peuvent être moins contraintes et plus libres de se développer.

Le terme de *Participatory Design* est apparu au début des années 1980, en matière de développement de logiciels. Au début de l'existence du PD, les méthodes proposées n'ont pas été très suivies ou mobilisées du fait de la conception de système relativement indépendant et non centré sur les aspects collaboratifs. Au milieu des années 80, de plus en plus d'industriels se sont mis à utiliser et manipuler des systèmes logiciels, ce qui a permis d'initier les concepts de la conception pour les utilisateurs [Grudin, 2002]. Cette étude a notamment révélé la complexité de travailler en étroite collaboration avec les utilisateurs sur un produit innovant.

Ensuite, l'approche intitulée «*analyse collaborative des exigences et de la conception*» (ou Collaborative Analysis of Requirements and Design – CARD en anglais) a été proposée en 1992. CARD peut être assimilée à une technique de PD macroscopique [Muller, 2001]. Par exemple, des séances CARD sont menées de manière informelle comme une sorte de séance de brainstorming structurée. Les participants sont des gens (pas nécessairement utilisateurs) voulant combiner leurs points de vue pour refléter leurs besoins et identifier des exigences dans des environnements différents.

Dans PD, les utilisateurs sont également impliqués dans le développement des produits ; ils peuvent être considérés comme co-concepteurs. Un grand nombre de projets mobilisant ces approches sont encore actuellement orientés développements logiciels, Web et interface homme-machine (IHM) [Katz-Haas, 1998], [Grudin, 2002], [Golanski, 2005]



Notre conviction est de pouvoir proposer des outils issus de PD dans nos domaines de recherche tels que la conception de produits ou de systèmes à destinations de PSH ou de chirurgiens spécialisés. Ce contexte de travail est extrêmement favorable à l'application des principes de travail collaboratifs impliquant des métiers et donc des compétences complémentaires dans le processus de conception pour développer un produit satisfaisant le plus grand nombre, en acceptant compromis et décisions collégiales.

De même, la méthodologie PD est un bon point de départ en ce qui concerne la conception de nouveaux outils chirurgicaux pour les opérations d'arthrodèse lombaire tel que ce sera explicité dans la section suivante. Puisque nous y avons comme objectif de concevoir non seulement les outils innovants, mais également le processus opératoire correspondant, il est indispensable que le chirurgien intervienne non pas uniquement en tant qu'utilisateur, mais également comme concepteur, avec les autres experts et chercheurs. Pour pousser plus loin l'application de cette méthode, nous allons présenter et analyser ci-dessous la notion de «scénario» pour ensuite essayer de définir un espace d'expérimentation en phase avec nos objectifs.

### *Action Research*

La recherche dans le domaine des méthodologies de conception de produit n'est pour nous en aucun cas limitée aux propositions de modèles et d'outils théoriques. Nous nous posons continuellement les questions de modélisation de processus de conception et cela a permis de faire évoluer les réflexions autour des méthodologies de conception. Pour répondre en partie à ces questionnements, nous avons choisi de nous orienter vers de la recherche basée sur la pratique et notamment la méthodologie intitulée Action-Research (ou recherche action en français).

La recherche-action découle de problème, de dilemme, ou d'ambiguïté dans une situation dans laquelle les praticiens se trouvent [Swann, 2002]. C'est une méthodologie de recherche pratique qui est généralement décrite comme exigeant la réunion de trois conditions :

- L'objet d'étude est normalement situé dans le cadre d'une pratique sociale qui doit évoluer.
- Il s'agit d'une activité participative à laquelle les chercheurs travaillent en collaboration équitable avec les autres acteurs.
- Le projet passe par une succession de cycles de planification, d'action, d'observation et de réflexion dans une étude systématique et documentée [Kember, 1993].

Il est ainsi possible de représenter le cycle Action-Research par une succession des quatre étapes planification, action, observation et réflexion comme illustrée en figure 4.

Dans cette approche, l'étape de planification comprend l'analyse du problème et une proposition stratégique ; l'action se réfère à la mise en œuvre de cette proposition stratégique ; l'observation comprend une évaluation de l'action par des méthodes et des techniques appropriées ; et des moyens de réflexion permettent d'effectuer l'évaluation sur l'ensemble du processus d'action et de la recherche. Cette idée considère que ce cycle peut conduire à l'identification d'un nouveau problème ou de nouveaux problèmes et donc à la réalisation d'un nouveau cycle de planification, d'action, d'observation et de réflexion.



Figure 4. Diagramme illustrant la méthodologie Action Research

Dans nos activités de recherche, il est possible d'illustrer par exemple le cas de la conception d'un nouvel instrument chirurgical comme type de l'application de cette méthodologie :

Tout d'abord, l'objet d'étude concerne la conception d'un instrument chirurgical innovant dont la procédure opératoire actuelle se doit d'y être adaptée. Le contexte d'étude implique une collaboration entre les domaines de l'ingénierie et de la chirurgie. Donc, le processus de conception est une activité où de nombreux acteurs de compétences différentes participent. Ceci sera illustré notamment à la section 4 de ce chapitre.

Concernant la participation des chercheurs aux activités de conception, le taux élevé d'innovations et de publications dans le domaine de la conception des instruments chirurgicaux montre que dans ce contexte le rôle de concepteur ne varie pas spécifiquement du rôle de chercheur (en contraste avec la conception de voiture, de meubles, ou des produits manufacturiers). Ainsi, dans ce contexte, les chercheurs ont une activité participative et aussi une collaboration réelle avec des concepteurs et les chirurgiens.

Enfin, la succession de cycle est un élément intrinsèque à la problématique posée. La planification, l'action, l'observation et la réflexion constitueront ainsi le socle de l'activité proposée. Le projet est de plus naturellement documenté par des croquis, des modèles CAO 3D et également des protocoles opératoires et des données cliniques.

#### *Scenario Based Design (SBD)*

Les scénarios sont des histoires à propos des gens et leurs activités [Carroll, 2000], et ces histoires sont de plus en plus attractives pour les chercheurs qui tentent de trouver la logique de la conception en étudiant les aspects essentiels du problème et la naissance de la solution. Les premières recherches sur le scénario étaient focalisées sur la caractérisation de l'histoire par un ensemble d'éléments [Propp, 1958]. Dans le même contexte, les chercheurs ont fait l'effort de découvrir de nouveaux aspects du scénario: ainsi les agents et acteurs, les buts et objectifs, et les actions et événements ont été inclus comme les notions principales. Dans différents domaines, les chercheurs ont commencé à utiliser le scénario comme un outil pour la conception et à l'introduire consciemment au processus de conception. Historiquement, jeux stratégiques et militaires furent la première utilisation du scénario [Becker, 1983] [Brown, 1968].

Dans les domaines de l'économie et du management, le scénario a été utilisé pour analyser les conséquences d'actions et des politiques. Suite à la première proposition de l'utilisation du scénario dans les IHM [Young, 1987], les chercheurs les ont utilisés comme moyens de représentation des exigences du système pour améliorer la communication entre les développeurs et les utilisateurs. L'idée de reconnaître certaines conséquences dans la description des activités impliquant les acteurs et les détails de la situation de manipulation a amené les chercheurs à utiliser le terme «scenario-based» dans leurs méthodologies de recherche. Il est très aisé de trouver des exemples de projets dans des disciplines variées mobilisant cette approche basée sur les scénarios (SBD ou Senario Based Design en anglais) comme la prise de décision [Bontemps, 2007] [Blanning, 1995], le développement technologique (logiciel) [Weidenhaupt, 1998], analyse des besoins [Jintae, 2006], comptabilité [Pacharn, 2006], et enfin la conception mobilisant l'approche SBD [Carroll, 1995] [Hertzum, 2003] [Yin-Leng, 2005].

A partir de l'analyse de l'utilisation des scénarios dans trois grandes disciplines (gestion stratégique, IHM et les logiciels et le système d'ingénierie), un cadre interdisciplinaire a été proposé pour la gestion de scénarios [Jarke, 1998]. Ces auteurs ont également conclu que malgré une certaine différence de terminologie et d'utilisation, deux qualités particulières se dégagent de leur étude. Premièrement, un scénario est dépendant de son contexte et il définit l'environnement de travail en mettant l'accent sur l'interaction de ou des tâches. Deuxièmement, les scénarios sont un moyen de communication entre les parties prenantes du projet. Leurs conclusions sont résumées par [Hertzum, 2003] considérant le rôle sous-jacent du scénario: prendre des décisions dans une compréhension globale commune de la situation d'usage.

Le scénario est censé capturer et explorer la structure fine de la psychologie opérationnelle dans la situation d'utilisation [Carroll, 1995]. Kurakawa propose la *situation* comme l'un des trois éléments essentiels d'un scénario, et il la définit comme l'évolution d'un état autour de l'acteur, où il se produit un événement particulier [Kurakawa, 2004]. Surtout, la description de la situation d'utilisation est donnée par le scénario. Cette description doit être narrative, détaillée et écrite avec beaucoup de minutie [Diaper, 2002], mais aucune étude donne d'indication sur la motivation de l'emploi du SBD, sinon dans les problématiques liées aux questionnements de l'analyse des tâches.

La spécification de l'environnement ou les différents éléments de la situation d'utilisation sont très importants, et nous savons maintenant que la proposition d'un artefact ne peut pas être faite indépendamment de l'analyse des éléments environnementaux. L'approche SBD fournit un cadre pour gérer les informations générées par l'activité de conception pendant les interactions tâches – artefact [Carroll, 2000]. Les concepteurs peuvent suivre l'évolution du travail lors des situations d'usage de l'artefact. A travers ces confrontations, mobilisation des artefacts, les évolutions des usages et des contraintes relatives à ces usages évoluent tout au long du processus de conception. En outre, les chercheurs peuvent utiliser des scénarii pour analyser diverses possibilités offertes par leurs conceptions à travers de nombreux points de vue différents de situations d'utilisation. Ce concept est représenté dans la figure 5.

Cet outil SBD sera largement illustré dans les prochaines parties de ce document. Même si nous n'y reviendrons pas systématiquement en détaillant les diverses expérimentations, nous avons appliqué méthodiquement les notions qu'il contient pour construire nos mises en scènes avec les utilisateurs. Nous proposerons également de faire évoluer cet outil en *scénario étendu* en le personnalisant suite à l'une de nos activités de conception d'instrument chirurgical.

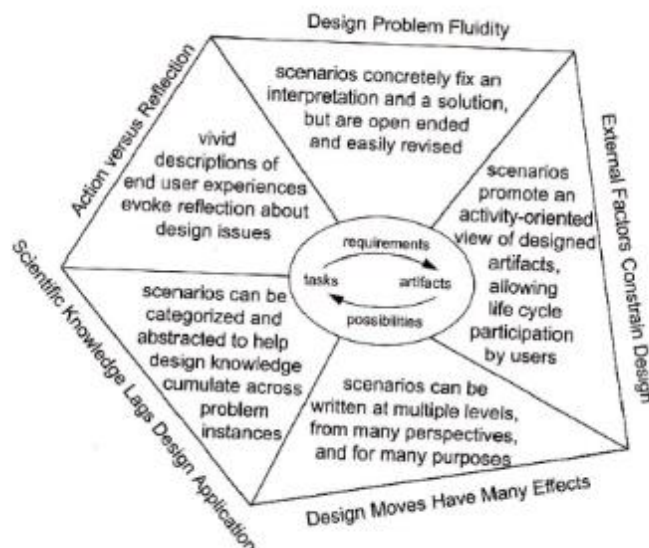


Figure 5. Challenges et approches du SBD [Carroll, 2000]

Nous considérons que ces quatre approches (UCD, PD, Action-Research et SBD) sont tout à fait complémentaires. Elles constituent les ressources méthodologiques mobilisées de manières régulières pour préparer et mener une expérimentation avec un ou plusieurs utilisateurs spécifiques dans le but d'y découvrir ou d'y valider des compatibilités ou incompatibilités entre exigences, fonctionnalités et usages. Malgré tout, les deux dernières notions d'Action-Research et de SBD ont surtout été mobilisées lors des travaux en présence des PH.

#### b. Autres approches de conception spécifiques dans le domaine médical et handicap

Il existe deux courants principaux pour concevoir des produits adaptés à des utilisateurs ayant différentes capacités [Stary, 1997] : concevoir des produits grand public destinés à un maximum de personnes (courant universaliste) ou concevoir des produits spécifiques puis les étendre à d'autres utilisateurs (courant spécialisés). En liens avec ces courants et l'approche UCD, deux autres propositions méthodologiques qui apportent un éclairage en lien fort avec nos travaux émanent également. C'est le cas de l'approche EMFASIS et de l'*Ability-Based Design* que nous allons présenter également.

##### *Courants universalistes*

Les courants universalistes (*Barrier-Free Environment, Universal Design, Design For All, Accessible Design, Inclusive Design, Transgenerational Design, etc.*) visent à concevoir et à développer des produits, des services, des systèmes et des environnements qui soient accessibles et utilisables par le plus large éventail possible d'usagers. Les courants les plus en liens avec nos activités de recherche sont explicités ci-dessous.

**L'Universal Design** se présente par la définition de Ron Mace comme «*la conception de produits et d'environnements qui soient utilisables par tout individu, dans la plus grande mesure possible, sans recourir à l'adaptation ou à la conception spécialisée*» [Mace, 1991], [Mitrasinovic, 2008]. Le tableau 10 reprend les 7 principes de la conception universelle, très proches des notions de l'utilisabilité d'un produit [Erlandson, 2007]. Ces principes sont applicables pour de nombreux types de conception comme les lieux de travail, les services ou le matériel d'éducation. Mais, ils peuvent être plus difficiles à utiliser pour la conception de systèmes interactifs [Wobbrock, 2011].

Dénomination du principe	Définition du principe
Utilisation équitable	La conception est utile et commercialisable auprès des personnes ayant différentes capacités
Flexibilité d'utilisation	La conception tient compte d'une vaste gamme de préférences et de capacités individuelles
Utilisation simple et intuitive	L'utilisation de la conception est facile à comprendre, indépendamment de l'expérience, des connaissances, des compétences linguistiques de l'utilisateur ou du niveau de concentration au moment de son utilisation
Information perceptible	La conception communique efficacement à l'utilisateur l'information nécessaire, quelles que soient les conditions ambiantes ou les capacités sensorielles de la personne
Tolérance à l'erreur	La conception minimise les dangers et les conséquences négatives de gestes accidentels ou involontaires
Faible niveau d'effort physique	La conception permet une utilisation efficace et confortable, générant une fatigue minimale
Dimensions et espace libre pour l'approche et l'utilisation	La conception prévoit une taille et un espace adéquats au moment de s'approcher, de saisir, de manipuler et d'utiliser, quelles que soient les contraintes de taille, de posture ou de mobilité de l'utilisateur

Tableau 10. Les 7 principes de la conception universelle

Le **Design for All** est le courant européen équivalent à l'Universal Design avec une orientation vers les Technologies de l'Information et de la Communication [Wobbrock, 2011]. Soutenu par l'European Design for All e.Accessibility Network (EDeAN), son objectif est la promotion des actions et des travaux par la mise en place de centres nationaux d'excellence en «*Design pour Tous*», afin de créer des recommandations européennes pour les concepteurs [Clarkson, 2003].

L'**Accessible Design** est étroitement liée à l'Universal Design. En effet, elle est définie comme une approche permettant l'accès à des espaces et services pour tout le monde. Elle est logiquement principalement appliquée pour la construction de cadres bâtis et architecturaux [Wobbrock, 2011] [Hamilton, 2008]. Mais cette approche permet également par exemple de proposer un environnement sans obstacle afin de prévenir les chutes pour les personnes âgées [Ståhl, 2007], [Wennberg, 2010].

L'**Inclusive Design** est une création de l'Université de Cambridge au Royaume-Uni. La conception inclusive est définie comme «*la conception de produits grand public et/ou des services qui sont accessibles et utilisables par autant de personnes que possible sans la nécessité d'une adaptation spéciale ou de conception spécialisée*» [Keates, 2000]. Elle a été appliquée pour la conception d'outils et de jouets sonores pour les enfants malvoyants. Elle a également permis la réutilisation de produits existants [McElligott, 2004]. Ce courant de conception vise à proposer une «*Inclusive Design Toolkit*», pour aider les concepteurs à développer des produits grands publics à partir d'un concept imaginé initialement pour une minorité d'utilisateurs. Le but est donc d'étendre un produit ou un service, défini pour une population cible (personnes âgées, enfants, PSH, etc.) à un maximum d'utilisateurs possible. La démarche de conception se décline en trois phases [Clarkson, 2003] :

- La première phase est la position du problème permettant de définir les spécifications du produit en *objectifs produits* et *besoins utilisateurs*.
- La deuxième phase est la définition du système intégrant les modalités d'interactions entre l'utilisateur et le produit d'un point de vue sensoriel, cognitif et moteur. Cette phase permet de vérifier la perception, la compréhension et le confort de l'utilisateur face au produit.
- La dernière phase est la validation du système en testant l'acceptabilité du produit sous ces deux angles : utilisabilité (fonctionnelle) et accessibilité (sociale).

Généralement, la démarche de conception est adaptée en fonction du produit à concevoir (architectural, TIC, etc.) ou selon les types d'utilisateurs (enfants, personnes âgées, etc.). Par contre, ces courants ne fournissent généralement qu'un *guide de bonnes pratiques* (principes de l'Universal Design) ou des *lois de conception* (diamètre de giration d'un fauteuil roulant par exemple). Ils permettent malgré tout d'orienter le projet de conception.

L'approche **EMFASIS** (Extended **M**odularity, **F**unctional **A**ccessibility, and **S**ocial Integration Strategy) tente de concilier les principes universalistes de la conception avec un marché de niche [Plos, 2012]. Cette approche de conception est centrée sur un produit issu de ce *marché de niche* pour l'étendre vers un *marché de masse*. La stratégie de cette approche considère divers critères à intégrer dans le projet de conception.

- Le premier critère est l'extension de marché. Il est essentiel d'anticiper l'extension de marché d'un produit spécialisé en orientant la conception du produit vers une utilisation équitable (le premier principe de l'Universal Design).
- Le deuxième critère est basé sur la conception modulaire. Pour satisfaire à une variété de besoins, il est important de définir une architecture produit modulaire afin de concevoir une gamme de produit. Elle offre ainsi plus de souplesse pour répondre à de nouveaux besoins ou pour intégrer de nouvelles technologies.
- Le troisième critère est l'acceptabilité fonctionnelle. Pour l'atteindre, le produit doit être utilisable et utile, ce qui nécessite une analyse approfondie des besoins. Les auteurs recommandent d'utiliser plusieurs méthodes, répétables d'une analyse à une autre, pour étudier les besoins des utilisateurs.
- Le quatrième critère est l'accessibilité. Il correspond à une extension de l'acceptabilité fonctionnelle à une plus grande diversité de populations.
- Le dernier critère est l'intégration sociale. Il est important d'étudier les caractéristiques esthétiques des produits ainsi que leurs intégrations à l'environnement social et sociétal. Par exemple, les auteurs insistent sur la création d'une esthétique du produit non-stigmatisant pour les utilisateurs en situation de handicap.

Cette nouvelle approche proposée à partir des principes des courants universalistes est très intéressante et correspond à nos réflexions de développements de produits pour les PSH. Le second critère notamment constitue en lui-même une approche de conception. La **conception modulaire** est définie comme «une méthodologie de conception qui vise à développer une architecture produit composée de différents sous-systèmes» [Gu, 1999], [Hashemian, 2005], [Ulrich, 1994]. Le terme modulaire est utilisé pour décrire «l'utilisation d'unités communes pour créer des variantes de produits



[...] visant à l'identification d'unités indépendantes, standardisées ou interchangeables pour satisfaire une multitude de fonctions» [Huang, 1998].

### Courants spécialisés

Contrairement à l'**Universal Design**, le principe de l'**Adaptable Design** est de modifier un produit standard pour le rendre accessible à un utilisateur ayant ses propres caractéristiques [Erlandson, 2007]. Par exemple, l'adaptation du mobilier (étagère tournante sous l'évier), l'adaptation d'un véhicule (rampe sur le Volkswagen Caddy Maxi, aménagement du poste de conduite avec les technologies Space Drive ou historiquement : une télécommande de téléviseur). Ce courant permet de développer rapidement de nouveaux modèles de produits, d'améliorer les produits existants sous forme de *mises à jour*, de proposer des produits sur mesure [Hashemian, 2005], [Kasarda, 2007]. Pour concevoir un produit issu de l'Adaptable Design, les phases de conception doivent intégrer cette capacité d'adaptation. Les adaptations potentielles du produit doivent être définies au début du processus de conception.

Le **Rehabilitation Design** ou **Rehabilitation Engineering**, a pour principe de développer des solutions de concepts sur mesure pour un utilisateur ou un groupe d'utilisateurs. Cette approche cherche «à quantifier, mesurer et suivre la performance humaine pour fournir de meilleures adaptations» [Wobbrock, 2011]. Pour James Reswick, l'ingénierie de réadaptation est «l'application de la science et de la technologie pour améliorer les situations de vie des personnes en situation de handicap» [Reswick, 1982]. Elle permet de développer, adapter, appliquer et évaluer les solutions sur les obstacles rencontrés par les utilisateurs en situation de handicap. Rehabilitation Design est très exploitée dans le domaine des nouvelles technologies pour la fabrication de robots intelligents d'assistance ou pour mettre à disposition des interfaces de communication personnalisables et/ou réglables [Keates, 2000]. Généralement, l'évaluation du produit est centrée sur les facteurs personnels de l'utilisateur (capacités) et sur son efficacité [KARMAKAR, 2008].

L'**Ability-Based-Design (ABD)** consiste à se focaliser sur les capacités de l'utilisateur tout au long du processus de conception pour créer des systèmes fondés sur le «*potentiel humain*» [Wobbrock, 2011]. Ainsi, cette approche positionne les aptitudes de l'utilisateur comme le point central des activités de conception. Le défi de l'ABD est d'identifier les aptitudes d'un utilisateur afin de générer automatiquement des systèmes adaptés qui tirent parti des capacités utilisateurs. A la suite d'une description de quatorze projets, les auteurs ont formulé sept principes pour intégrer cette approche dans les projets de conception (tableau 11).

STANCE	1. Ability.	Designers will focus on ability not <i>dis</i> -ability, striving to leverage all that users <i>can</i> do.	<i>Required</i>
	2. Accountability.	Designers will respond to poor performance by changing systems, not users, leaving users as they are.	<i>Required</i>
INTERFACE	3. Adaptation.	Interfaces may be self-adaptive or user-adaptable to provide the best possible match to users' abilities.	<i>Recommended</i>
	4. Transparency.	Interfaces may give users awareness of adaptations and the means to inspect, override, discard, revert, store, retrieve, preview, and test those adaptations.	<i>Recommended</i>
SYSTEM	5. Performance.	Systems may regard users' performance, and may monitor, measure, model, or predict that performance.	<i>Recommended</i>
	6. Context.	Systems may proactively sense context and anticipate its effects on users' abilities.	<i>Recommended</i>
	7. Commodity.	Systems may comprise low-cost, inexpensive, readily available commodity hardware and software.	<i>Encouraged</i>

Tableau 11. Les 7 sept principes de l'ABD

Les deux premiers principes sont des exigences pour tout projet de conception intégrant l'approche ABD. Les concepteurs s'orientent à la fois sur «*ce qu'une personne peut faire*», sur «*ce qu'elle ne peut pas faire*» et sur «*ce que tout le monde peut faire*». En adoptant une démarche de conception itérative, les concepteurs ont la responsabilité d'effectuer les modifications des solutions de concepts sur le système en lui-même, et non sur l'utilisateur. Comme les auteurs le décrivent, «*un système basé sur les aptitudes devrait être suffisamment souple pour permettre aux gens d'utiliser un système sans les obliger à modifier leur corps, leur connaissance, ou leurs comportements*» [Wobbrock, 2011].

Dans l'approche ABD, les principes 3 et 4 sont cruciaux dans les projets de conception. C'est ici que les capacités de l'utilisateur sont sollicitées. Le principe 3 d'*adaptation* se réfère à des interfaces auto-ajustables ou réglables à partir de la performance utilisateur ou du contexte d'utilisation. Le principe 4 de *transparence* donne la possibilité aux utilisateurs de corriger, stocker, récupérer, prévisualiser ou de tester les interfaces adaptables. Ainsi toutes les adaptations restent visibles et modifiables.

Les principes 5, 6 et 7 concernent le système dans sa généralité. Les auteurs recommandent que le système soit conçu au regard des performances de l'utilisateur. Il doit pouvoir contrôler, mesurer, modéliser ou prévoir cette performance. Le système peut changer de contexte d'utilisation et doit donc anticiper les effets sur les aptitudes de l'utilisateur. Enfin, les systèmes doivent être peu coûteux et le matériel facilement disponible.

En plaçant les aptitudes des utilisateurs au centre des discussions, les objectifs de l'approche ABD sont très proches de ceux identifiés dans mes travaux de recherche. Des applications de cette approche comme la génération automatique de l'interface utilisateur [GAJOS, 2010], l'adaptation éphémère [FINDLATER, 2009], l'adaptation aux différentes compétences de l'utilisateur [HURST, 2007], et l'adaptation à l'évolution des contextes utilisateur [KANE, 2008] démontrent que les technologies interactives peuvent détecter et s'adapter aux capacités de l'utilisateur.

### c. Conclusion

Cette revue bibliographique permet de comprendre dans quel cadre théorique se placent mes activités de recherche. Dans le début de cette partie, nous avons exploré :

- L'UCD pour poser les grandes étapes essentielles à la prise en compte de l'utilisateur dans le processus de conception.
- La PD pour impliquer les utilisateurs en tant que concepteur dans ce processus.
- L'*Action Research* pour positionner également la participation des chercheurs dans la démarche et proposer un cadre pour l'analyse du déroulement de l'activité.
- Et enfin la démarche SBD pour construire les expérimentations et leurs déroulements efficaces.

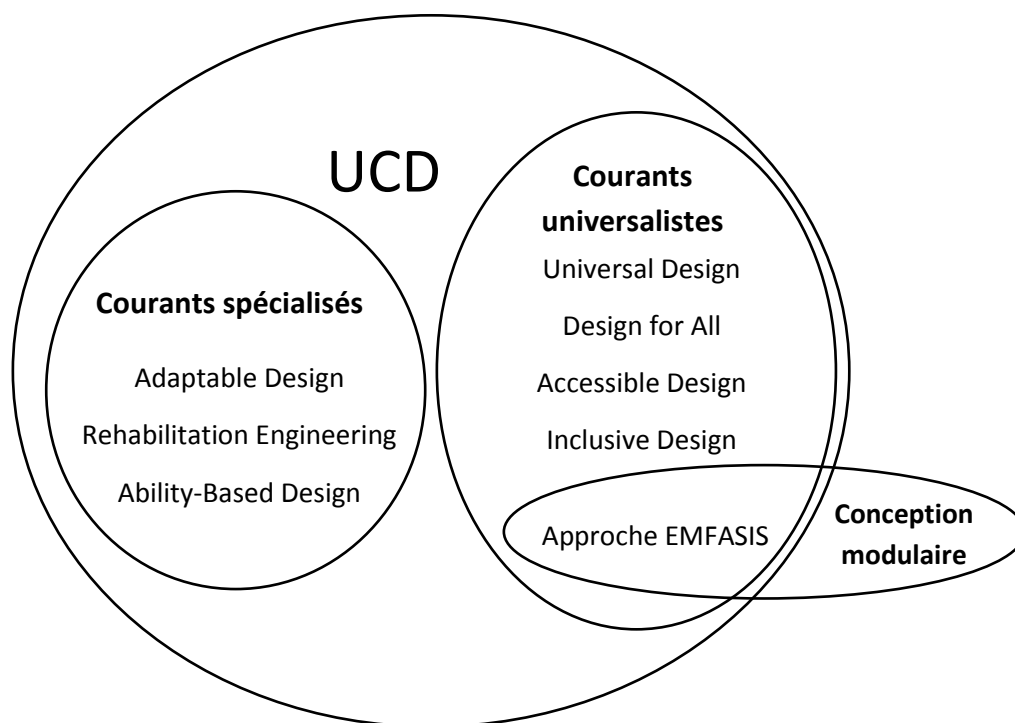
Pour les approches plus spécifiques concernant le domaine du handicap, nous retenons des **courants universalistes** qu'ils mettent l'accent sur l'élimination des barrières à l'activité et donc à la participation. Dans le contexte du handicap, en raison de la diversité de profils utilisateurs existants, la possibilité de créer un produit unique qui soit utilisable par chacun ou en toutes circonstances est interrogée [GAJOS, 2007]. L'Accessible Design met l'accent sur l'accessibilité du produit, en proposant des solutions de conception qui s'adaptent à un maximum d'utilisateurs et non l'inverse. L'Inclusive



Design est la démarche qui répond le mieux aux enjeux dans ce contexte. Cette approche permet notamment de guider de manière pédagogique les concepteurs. L'adaptation au contexte du handicap se fait donc sur l'utilisation d'outils pendant les différentes phases de conception pour comprendre et définir les capacités propres des utilisateurs. Par contre, cette approche ne prend pas en compte les possibles itérations de conception pour l'évolution des produits.

Les **courants spécialisés** permettent la conception de produits sur mesure et personnalisables aux besoins, aux exigences et aux capacités des utilisateurs. Par contre, et en raison de la diversité des profils existants, de nombreuses interfaces seront nécessaires. Chaque individu possède ses propres capacités et des besoins divers [Bergman, 1995]. Notons que même les personnes ayant un diagnostic médical semblable peuvent avoir un large éventail de capacités motrices [Gajos, 2007], impliquant la nécessité de personnaliser le produit à leurs besoins. Ces exigences de personnalisations sont en opposition avec la réduction des coûts des produits qu'il est possible d'obtenir en mobilisant les courants universalistes. La conception modulaire peut être une réponse à ces contradictions.

Pour résumer cette section et avoir une vue d'ensemble des méthodologies présentées, je propose la schématisation simplifiée en figure 6. Dans la suite du document, j'y ferai référence pour positionner mes activités et également situer mes propositions méthodologiques.



*Figure 6. Représentation des méthodologies et approches de recherche mobilisées*

## 2. Conception pour le praticien hospitalier

Mes premiers pas dans le milieu de la recherche ont été effectués lors de mon travail de doctorat réalisé dans le Laboratoire d'Automatique Industrielle (LAI) de l'INSA de Lyon ; choix de sujet de thèse très différent du contexte de mon DEA [AI 1]. Il s'agissait de réfléchir, avec les praticiens gastroentérologues, à la proposition d'un outil permettant d'améliorer la pratique de la coloscopie, non pas du point de vue de la manipulation par le spécialiste, mais du point de vue du confort pour le patient. Ces travaux ont nécessité une certaine prise de recul avec le PH sur sa pratique et ses expertises médicales (connaissances anatomiques, sa sensibilité à la manipulation de l'outil, etc.). J'ai assisté à de nombreuses coloscopies et effectué quelques réunions bilan avec le PH pour comprendre la problématique réelle posée et le besoin du professionnel.

### a. Contexte (gastroentérologie) et problématique

Les progrès scientifiques et techniques des dernières décennies offrent de plus en plus de possibilités pour satisfaire les besoins des chirurgiens en matériel chirurgical et plus précisément en outils chirurgicaux accompagnés d'outils de visualisation ou de suivi. C'est ainsi que la Chirurgie Minimale Invasive (Minimally Invasive Surgery ou MIS) a fait son apparition en bloc opératoire dans les années 1990. La MIS a pour objectif principal de rendre les effets postopératoires moins douloureux pour le patient essentiellement en termes de récupération des traumatismes subis. Cela est rendu possible principalement en modifiant les procédures opératoires dans le but d'introduire à l'intérieur du corps humain des outils miniaturisés ou modifiés pour être adaptés à de toutes petites incisions et dans le but de réduire la durée d'intervention et donc le temps d'anesthésie et les traumatismes infligés au patient.

En 2001 et à ce jour encore, la coloscopie est considérée comme l'examen rectocolique de référence, dans la mesure où elle permettait de visualiser théoriquement la totalité du côlon et du rectum et de réaliser, si nécessaire, la biopsie et l'ablation des polypes (tumeurs bénignes précancéreuses) visualisés. Parce que la coloscopie est un examen invasif, des complications peuvent apparaître. Outre les risques liés à l'anesthésie générale, plusieurs études ont montré qu'environ 0.1% des patients subissaient une perforation et 0.3% une hémorragie. Si nous nous fions au chiffre d'environ 1.000.000 de coloscopies réalisées par an en France, nous sommes conduits à réfléchir sur le caractère traumatisant de cette exploration : environ 1.000 perforations potentielles par an, 3.000 hémorragies et surtout 100 décès.

Suite à de nombreuses discussions, notamment avec des chirurgiens gastro-entérologues, une nouvelle structure robotique permettant d'améliorer les conditions d'intervention en coloscopie a été proposée. Il s'agit de reconsidérer la partie distale du coloscope dans le but de limiter ses contacts avec l'intestin. L'intelligence de ce nouvel actionneur réside dans sa capacité à se tenir toujours éloigné des parois intestinales ; cela est réalisé par une régulation consistant à rester au centre de l'intestin.

### b. Conception et modélisation

La tête de coloscope réalisée est nommée EDORA (Extrémité Distale à ORientation Automatique). Elle est constituée principalement de 12 soufflets métalliques (4 soufflets en série pour chaque chambre déformable) et de trois plates-formes, comme le montre la figure 7. La plate-forme intermédiaire est placée essentiellement pour éviter le flambage des soufflets lors d'une flexion de l'EDORA. Par contre, le placement de cette plate-forme implique des liaisons mécaniques entre les

soufflets. Ceci a pour conséquence une modélisation statique «étage par étage» de la tête de coloscope [CI 1] [CI 2] [CI 3].

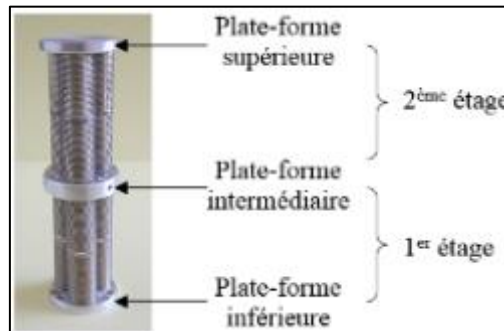
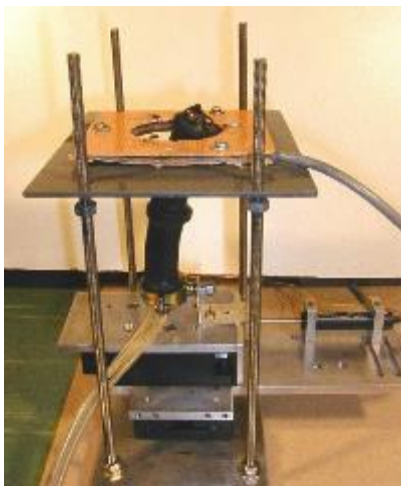


Figure 7. Tête de coloscope présentant les deux étages et les plates-formes de connexion des soufflets métalliques

Un travail de modélisation de cette tête de coloscope à deux étages a été effectué. Il nous a permis d'établir une relation entre les pressions dans les soufflets à l'inclinaison de la structure mécanique désirée en 3 dimensions [CI 4] [CI 5] [CI 6].



Le premier banc d'essai conçu a été réalisé en mode *inversé*. Pour valider expérimentalement les premières idées, nous avons contrôlé l'EDORA v1 par rapport à des mouvements perturbateurs à sa base, réalisés par deux vérins pneumatiques. Le but est d'éviter tous les contacts entre la plate-forme supérieure de la tête de coloscope et le trou représentant une section de la paroi intestinale. La figure 8 montre la position de l'EDORA v1 sous pression, donc inclinée. Pour cette première version, un aimant placé sur la tête du coloscope et trois capteurs à effet Hall ont été utilisés [CI 7] [CI 8].

Figure 8. Premier prototype de l'EDORA en fonctionnement

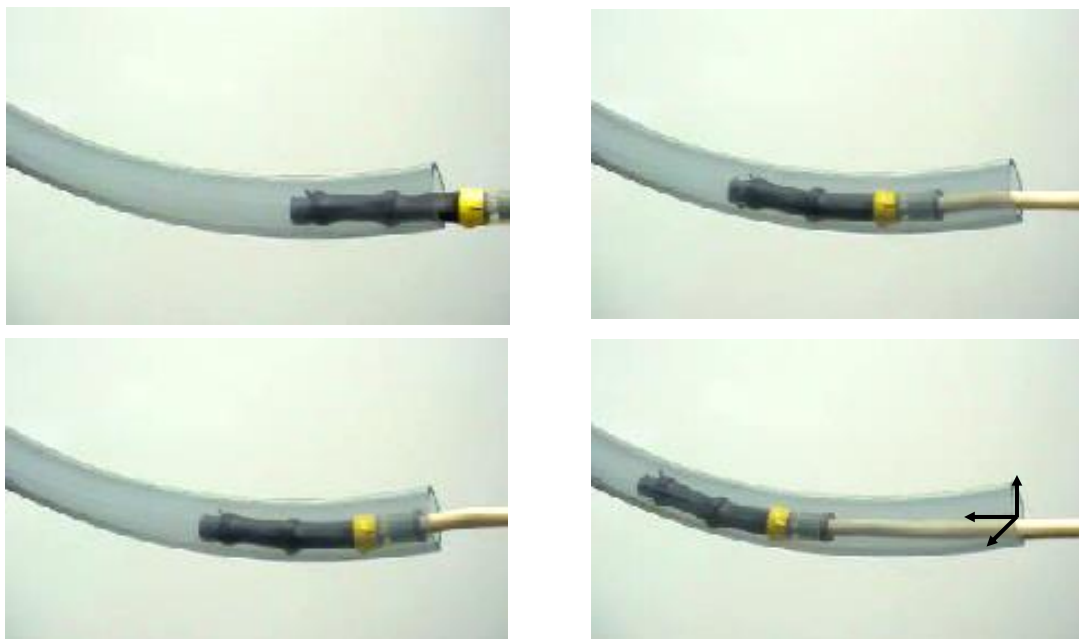
Cette version aboutie du prototype de coloscope nous a également permis d'établir une fonction de transfert du 3<sup>ème</sup> ordre intégrant les paramètres pneumatique et mécanique. Il permet de contrôler le système en boucle fermée en fonction de la distance à la paroi intestinale à maintenir [CI 9] [CI 10] [CI 11].

Suite à ces essais de faisabilité satisfaisants, nous avons évolué vers des expériences nous rapprochant de l'objectif final d'inspection intestinale. Pour cela, des fibres optiques ont été positionnées directement sur la plate-forme supérieure de l'EDORA. Après étalonnage de ces fibres, la tête de coloscope a pu progresser dans un tuyau souple transparent (figures 9). La réaction observée est une régulation automatique en pression dans les trois chambres déformables qui permet à l'EDORA v2 de s'adapter aux courbes du tuyau [AI 2]. D'autres travaux sur le traitement d'images ont été initiés pour permettre un contrôle automatisé de la tête de coloscope [CI 12]

### c. Conclusion

Les bancs d'essais réalisés ont nécessité des connaissances dans plusieurs domaines de l'ingénierie tels que la mécanique, l'automatique, l'électronique, le pneumatique, etc. Cette expérience de quatre années sur la conception instrumentée et la modélisation d'une tête de coloscope fut très enrichissante et formatrice, non seulement d'un point de vue technologique, mais

aussi méthodologique. Elle m'a permis de découvrir avec passion le milieu médical, ses exigences, ses contraintes, ses ambitions et son potentiel.



Figures 9. Inspection tubulaire de la tête de coloscope EDORA-01

Cette thèse de doctorat avait comme objectif de travailler principalement sur les aspects conception, instrumentation et modélisation du dispositif médical. Les difficultés ont été réelles pour comprendre la problématique et le besoin du praticien. Malgré les réunions régulières, les problèmes de communication et de compréhension entre concepteurs et équipe médicale étaient persistants. Dans le contexte de la thèse, effectuer des rencontres multiples sans outils adaptés rendait les conclusions très délicates et les décisions difficiles à finaliser. Un apport théorique d'outils d'observation, de formalisation et de compréhension des besoins auraient été d'une grande aide.

### 3. Conception avec l'implication des utilisateurs

Le travail de recherche présenté ci-après a été initié lors de mes six mois d'ATER à l'Université d'Evry Val d'Essonne. Il a été réalisé au Laboratoire des Systèmes Complexes (LSC) en collaboration avec la société Tech'Innovation, dont le directeur travaillait à ce moment-là sur un contrat de PAST. En plus de mes activités d'enseignement à l'IUP d'Evry, mon travail de recherche consistait à participer à l'élaboration de prothèses de membres supérieures et à l'élaboration d'une stratégie de contrôle-commande permettant de les manipuler de manière robuste et sereine. Je vais décrire ci-dessous le contexte et les contraintes matérielles et humaines avec lesquelles nous avons travaillé pour ce projet.

#### a. Contexte (amputés membre supérieur) et problématique

Les activités de recherche et de développement de ce chercheur associé consistaient en la conception et la réalisation de prothèses de membre supérieur. Ces prothèses peuvent remplacer les fonctions essentielles du coude, du poignet et de la main absente et rétablir son apparence extérieure.

Il y a en France environ 400 amputations du membre supérieur par an. Ce chiffre exclu les amputations des doigts et ne concernent que la main, l'avant-bras et le bras. Deux types de patients peuvent être identifiés :

- Les nouveaux : première prothétisation suite à un accident, environ 400/an en France

- Les anciens : ceux qui doivent renouveler leur prothèse, environ 2000/an en France. La durée de vie d'une prothèse est relativement brève, 3 à 4 années. Les patients retournent donc régulièrement remplacer leur prothèse.
- Dans le contexte de la prothèse de membre supérieur deux familles de prothèses sont développées et peuvent être souhaitées par le patient :
- Les prothèses esthétiques rétablissent la silhouette ou le schéma corporel dans son intégralité mais n'apportent aucun service. Leur objectif est uniquement plastique, ce type de prothèse est le plus fréquemment prescrit.
- Les prothèses fonctionnelles vont permettre aux patients de réaliser des mouvements. Il existe deux technologies principales pour ce type de prothèse :
- Les prothèses mécaniques tentent de se rapprocher de la fonctionnalité de l'ancien membre. Elles peuvent être manuelles (utilisation avec l'aide du membre sain) ou à câble avec l'emploi d'un harnais.
- Les prothèses myoélectriques utilisent la différence de potentiel que génère la contraction musculaire du moignon (signaux électromyogramme ou EMG de l'ordre du micro volt). Cette différence de potentiel est recueillie et traitée pour alimenter différents moteurs en fonction du muscle contracté et de l'amplitude de sa contraction.

Grâce à ces signaux, un grand nombre d'applications devient possible. Les EMG sont des signaux complexes, très bruités et qui peuvent facilement être perturbés par beaucoup de facteurs. C'est pourquoi, pour une utilisation fiable, ils nécessitent certains traitements spécifiques. Avec des électrodes placées simplement sur la peau, il est relativement aisé de mesurer les activités motrices fonctionnelles correspondant par exemple à se laver les dents ou à écrire.

Sur les prothèses modernes à commande myoélectrique - qui ont une valeur de standard - tous les éléments du système sont coordonnés les uns aux autres, depuis les électrodes qui captent les potentiels d'action musculaire jusqu'au gant cosmétique, en passant par les systèmes de commande complète et de force motrice.

Par contre, l'utilisation de ce type de prothèses demande un long apprentissage car les systèmes de commandes existants sont souvent très complexes et rarement personnalisés pour et avec les patients. Les utilisateurs estiment eux-mêmes que quinze jours à un mois minimum sont généralement nécessaires dans un centre de rééducation pour acquérir leur autonomie après une amputation. Ces prothèses sont considérées comme l'avenir pour les amputés désireux de reprendre une vie sociale et professionnelle après un accident par exemple. Cependant, trop peu d'entre eux y ont accès en raison du coût élevé de ce type d'appareillage.

Ayant connaissance des principaux inconvénients des prothèses fonctionnelles et disposant de la technologie pour les améliorer, nos objectifs du projet sont de proposer aux amputés une gamme de prothèses moins onéreuses d'une part, et répondant aux critères de fonctionnalité et d'esthétisme exprimés par les patients d'autre part.

Lors de l'étude effectuée en 2005, sur le marché des prothèses, il existait un seul fabricant de prothèse de mains et un seul de coude myoélectrique dont l'originalité de conception date de la Guerre du Vietnam. La conception des mains pouvait être assimilée à de simples pinces sous un habillage esthétique. Le coude était commercialisé autour de 23 000 €, la main et son poignet environ 7 500 €.

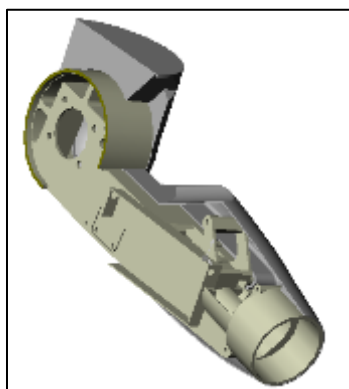
Le prix élevé de ces prothèses expliquait en partie la faible diffusion de ces produits. Il fallait ajouter à cela une certaine fragilité et une maintenance à problèmes.

A l'occasion de mes six mois de travail en collaboration avec l'entreprise Tech'Innovation, j'ai eu l'occasion de rencontrer des patients amputés grâce à qui nous avons pu proposer de nouvelles stratégies de commande des prothèses, des améliorations de conception ou encore des outils de suivi de qualité de manipulation.

#### b. Conception du produit et relations utilisateur et médecin

Le produit prothèse de membre supérieur était déjà conçu et prototypé lorsque je suis arrivé au LSC. J'ai donc pu découvrir ce produit, discuter des choix techniques et manipuler des procédés de fabrication, notamment la stéréolithographie.

Je ne vais pas détailler ici l'ensemble de la démarche ayant permis d'aboutir à la conception de la dernière version de la prothèse. Il est simplement important de signaler qu'elle est composée d'un corps, d'un étrier et d'un ensemble d'éléments esthétiques. L'avantage de cette nouvelle prothèse (figures 10) vient de sa nouvelle structure centrale qui intègre l'ensemble des éléments électriques de fonctionnement de la prothèse (moteur, carte de commande, batterie). En effet, pendant les essais de réglage, il suffit d'enlever les deux coques esthétiques pour avoir accès à la fixation de la main ou à la carte de commande.



*Figures 10. Corps et coude de la prothèse – CAO et prototypage rapide*



La prothèse totale de ce bras myoélectrique est présentée à la figure 11. L'emboîture, le coude, le poignet, la main et le débrayage manuel du coude y sont notamment représentés. La figure 12 montre un patient équipé de la prothèse développée par Tech.Innovation.

Pour conclure la partie conception mécanique de la prothèse, quelques caractéristiques physiques sont référencées dans le tableau 12.

Les travaux pour lesquels j'avais été contacté pour ce poste à Evry se focalisaient ainsi principalement sur la fiabilisation du contrôle de la prothèse de membre supérieur par les utilisateurs amputés. A partir des choix techniques décidés en amont par les concepteurs, nous avons proposé des options et confronté au plus tôt les premières stratégies de contrôle avec les utilisateurs. L'architecture produit intègre un moteur pour le poignet, un pour la main et un pour le coude. Ainsi, il est possible de faire tourner ces articulations individuellement dans un sens ou dans l'autre. La sélection du moteur du coude ou du poignet se fait par l'intermédiaire d'une contraction forte, puis le mouvement est réalisé par des contractions faibles. La sélection se fait comme indiquée ci-après en figures 13 et 14.

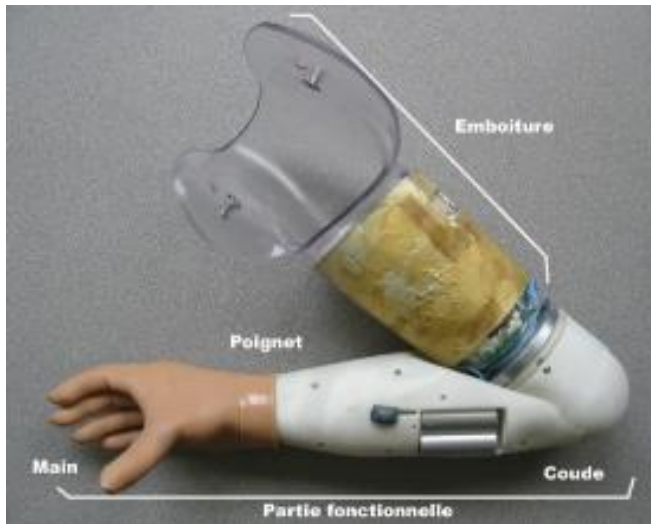


Figure 11. Photo de la prothèse de bras



Figure 12: Patient équipé de la prothèse de Tech.Innovation

poids de ma prothèse	3.5 kg
longueur de la partie fonctionnelle	450 mm
longueur de l'emboiture	120 mm
angle coude fermé	45 degrés
angle prothèse ouverte	169 degrés
amplitude totale pour le coude.	124 degrés
ouverture maximale de la main	110°
rotation du poignet	infinie en pronation et en supination
bruit du moteur du coude	61 dB
bruit du moteur du poignet	52 dB

Tableau 12. Caractéristiques physiques de la prothèse de Tech.Innovation

Une contraction forte du biceps implique la sélection du poignet (figure 13). Une contraction forte du triceps implique la sélection du moteur correspondant au coude (figure 14), par défaut après un temps d'attente, la carte de commande bascule sur l'ouverture/fermeture de la main.

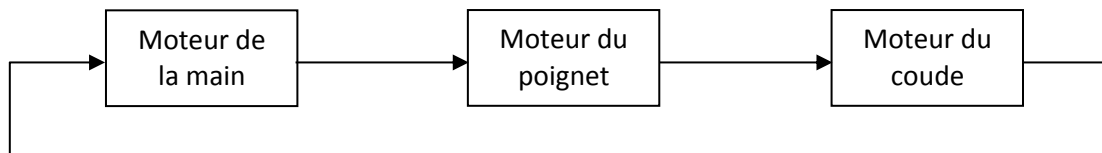


Figure 13. Sélection du moteur à partir d'une contraction forte du biceps.

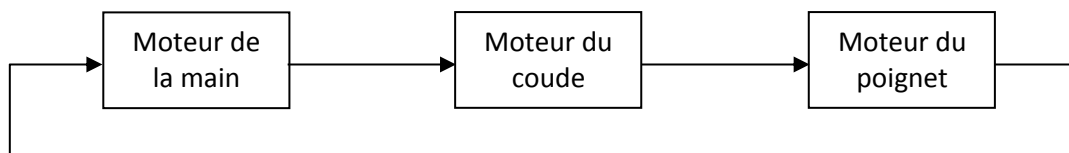


Figure 14. Sélection du moteur à partir d'une contraction forte du triceps.



Pour piloter le moteur sélectionné, par exemple le coude, une contraction faible du biceps contrôlera la flexion et une contraction faible du triceps contrôlera l'extension. Nous représentons sur le schéma ci-dessous (figure 15), le diagramme de succession des sélections des moteurs de la prothèse en fonction des contractions des muscles par le patient [CI 14].

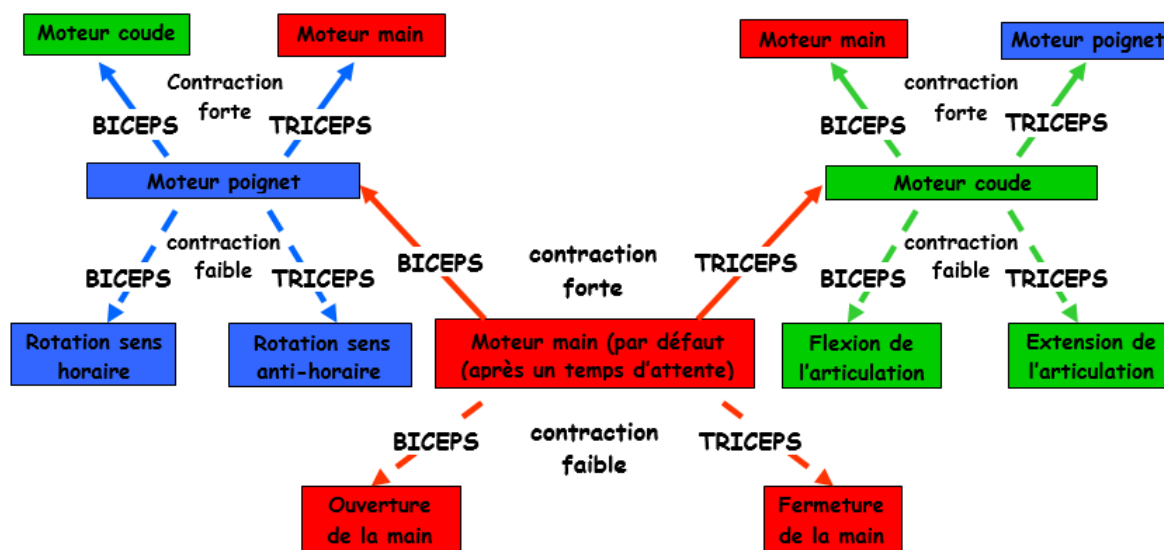


Figure 15. Diagramme de fonctionnement de la prothèse en fonction de l'activité musculaire

En nous concentrant sur ses exigences et retours d'expériences précédents des utilisateurs interrogés, nous avons proposé un protocole de commande dont l'objectif prioritaire est de différencier plus rapidement les signaux forts des signaux faibles et des signaux convenables. Pour cela, nous avons décidé de travailler sur les tangentes à l'origine du signal de sortie des capteurs. Ainsi, en déterminant une durée de contraction (adaptée à chaque patient), nous pouvons travailler sur des formes droites issues de l'origine du repère (figure 16).

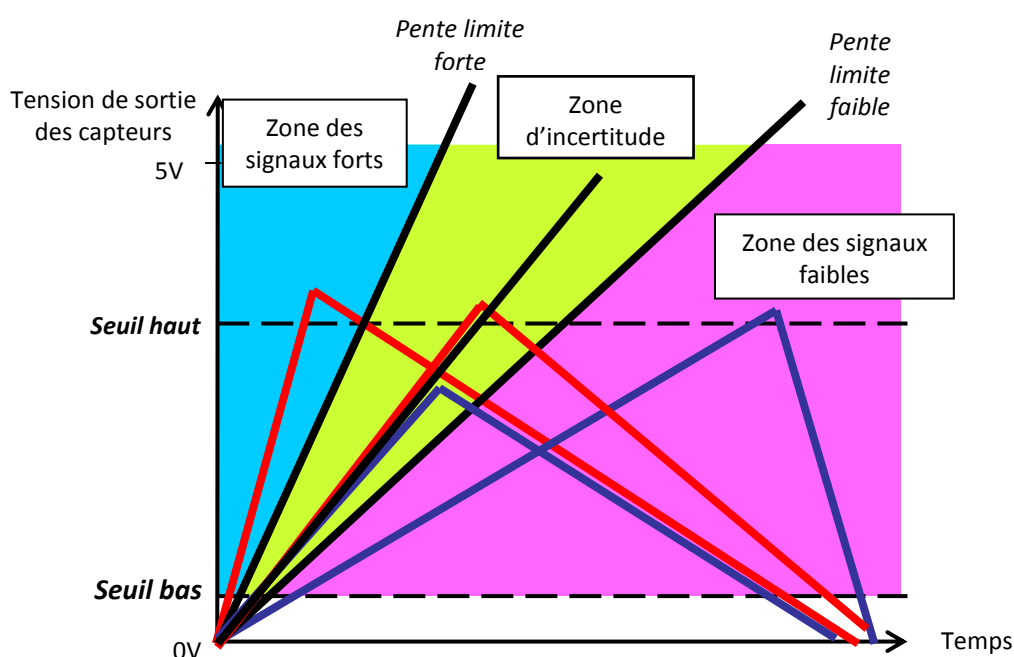


Figure 16. Stimuli possibles dus à la contraction d'un muscle et à la manière dont on peut déterminer qu'ils sont à considérer comme des stimuli forts ou des stimuli faibles (avec les seuils et les pentes de référence).



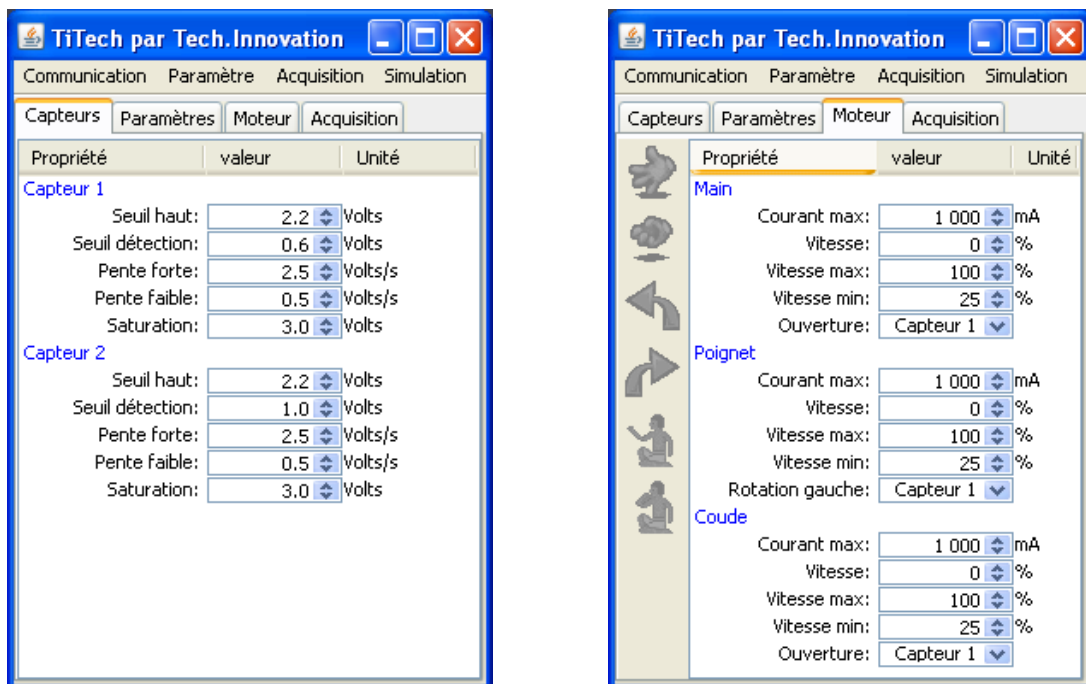
Nous introduisons également une pente limite forte et une pente limite faible (deux pentes de références) en plus des deux seuils de références (haut et bas) : dans le cas où la pente de départ du signal se trouve à gauche de la pente limite forte, il est déterminé qu'il s'agit d'un signal fort, quelle que soit finalement la valeur finale prise par le sommet. Si elle se trouve à droite de la pente limite faible, il est déterminé qu'il s'agit d'un signal faible quelle que soit la valeur finale prise par le sommet.

On suppose alors ici statistiquement que dans le cas d'une pente forte, le sommet sera, dans la plupart des cas, au-delà de la valeur seuil maximale et inversement dans le cas d'une pente faible. Entre les deux, il s'agit d'un signal "acceptable". Il peut être défini fort ou faible en utilisant le seuil haut et le seuil bas. Ainsi, en décidant que si le seuil bas n'est pas dépassé, il s'agit d'un signal faible et si le seuil haut est dépassé, il s'agit d'un signal fort.

En résumé, si le signal est dans la zone bleue, il est considéré comme "fort" et s'il est dans la zone violette, il sera "faible". Quand le signal est dans la zone verte, le signal sera "fort" s'il dépasse le seuil haut, "faible" s'il ne dépasse pas le seuil bas et il ne se passera rien entre les deux.

Les observations de l'utilisateur sont principalement axées vers une amélioration de la commande de la prothèse pour pouvoir mieux comprendre son fonctionnement et améliorer l'interaction qu'il a avec elle. Dès les premières observations en situation d'utilisation, le patient a fait remarquer des incompréhensions des mouvements de la prothèse suite à ses contractions musculaires lui semblant pourtant claires. C'est donc en collaboration très étroite avec un porteur de prothèses que nous avons choisi de développer l'interface et les fonctions du logiciel Titech qui permettent :

- de choisir les paramètres du microprocesseur permettant un ajustement dynamique des pentes et des seuils de détection des contractions pour générer des signaux forts et faibles (figures 17),
- de capter les activités musculaires en temps réel (figure 18).



Figures 17. Réglage des paramètres dédiés à la détection des signaux forts et faibles avec le logiciel Titech

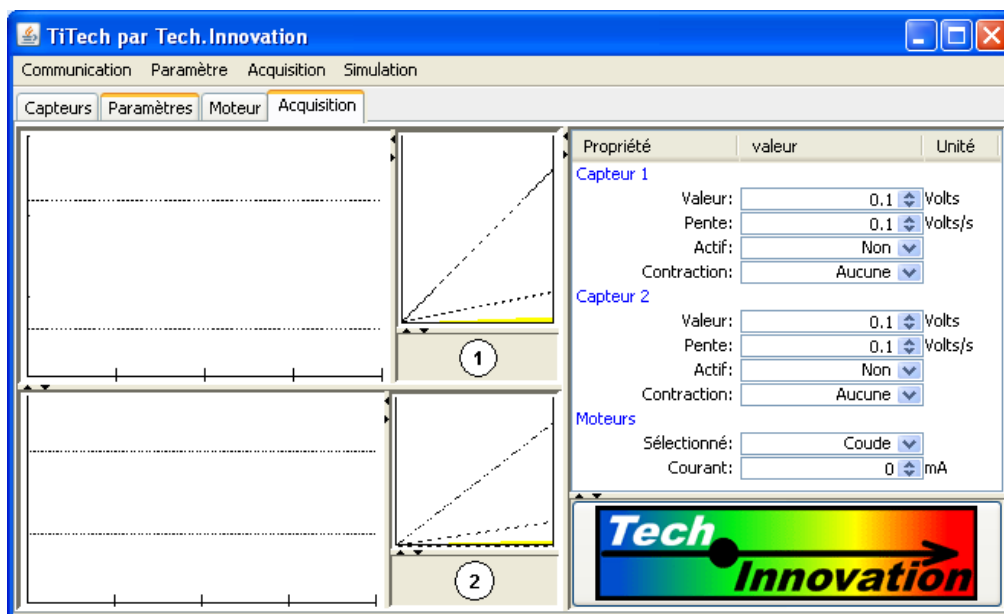


Figure 18. Interface d'acquisition des signaux émis par l'utilisateur après traitement

Les deux onglets du logiciel Titech nommés «capteurs» et «moteur» présentés sur la figure ci-dessus permettent, pour les électrodes du biceps et du triceps :

- d'ajuster les pentes pour les limites fortes et faibles,
- de définir les seuils hauts et bas des tensions limite et une limite de saturation,
- de choisir des caractéristiques de fonctionnement indépendantes pour chaque moteur.

Grâce aux fonctions développées dans ce logiciel Titech, il est possible de suivre les activités de l'utilisateur en temps réel, d'observer ses contractions musculaires (capteur1 et capteur2) et surtout de visualiser la valeur des tensions mesurées par rapport aux réglages du microcontrôleur (pentes et seuils). Il permet surtout d'ajuster en temps réel ces différents paramètres pour que l'utilisateur puisse choisir un réglage adapté [CI 24] [AN 1].

### c. Conclusion

Les travaux effectués avec les utilisateurs porteurs de prothèses de membre supérieur ont fait évoluer ma vision de la recherche. L'acceptation du produit par son utilisateur a une grande importance dans ce contexte. Les statistiques montrent que 50% des utilisateurs de prothèses n'acceptent pas leur nouveau membre supérieur. Effectivement, la prothèse est un corps étranger et tant qu'elle restera un corps étranger, elle sera mal acceptée. Il faut que le patient l'intègre comme faisant partie de son propre corps pour qu'elle soit bien tolérée. A ce moment-là, il oublie que c'est un corps étranger et elle fait part de lui-même. Mais pour cela, il faut qu'il la comprenne et la maîtrise.

Ma vision de l'influence de l'utilisateur dans le processus de conception d'un produit a réellement évolué à partir de cette expérience. Les interactions vécues avec les patients amputés m'ont appris énormément sur la posture à tenir en tant que chercheur-concepteur. Mes futurs travaux de recherche qui nécessiteront la sollicitation d'utilisateurs en seront d'autant plus affectés et une attention particulière y sera apportée pour les y associer convenablement.

#### 4. DESTIN : Expertises en conception pour la chirurgie

Les activités liées au projet DESTIN (DEsign of Surgical/Technological INnovation) ont constitué mes premiers encadrements d'étudiants de master recherche et mon premier co-encadrement de thèse de doctorat. Dans la lignée de mon travail de thèse dans le contexte médical et la MIS, nous avons ici aussi conçu un produit avec les PH, dans le service d'orthopédie et de traumatologie de l'hôpital Michallon de Grenoble-La Tronche. Cette activité dans le contexte hospitalier a permis de confirmer mon domaine de recherche dans ces thématiques au laboratoire, mais également comme enseignant en école d'ingénieurs auprès des étudiants et des équipes pédagogiques.

Les premières expériences d'encadrements au sein de l'équipe Conception Intégrée du laboratoire 3S m'ont apporté un cadre théorique et un contexte méthodologique conséquent qui m'était inconnu jusqu'ici. Les travaux de recherche de prise en compte des métiers et de leurs expertises mais aussi de leur intégration dans les processus de conception de produits et de service ont été source de discussions et ont constitué des ressources immenses pour mes orientations de recherches. Ces premières expériences m'ont permis une prise de conscience de l'importance d'un travail collaboratif instrumenté pour intégrer les différentes exigences métiers, mais aussi les spécificités des utilisateurs dans le processus de conception de produit.

Pour ce travail, mes activités précédentes (thèse et ATER) m'ont apporté compétences et expertises nécessaires dans le domaine médical. Les expérimentations avec les utilisateurs et les développements de bancs d'essais m'ont également donné un bagage conséquent pour mener les discussions et effectuer les réalisations techniques. Je détaille ci-dessous le contexte de cette étude en conception d'instrument chirurgical, en me focalisant ensuite vers nos principales revendications méthodologiques, scientifiques et techniques.

##### a. Contexte (arthrodèse lombaire) et problématique

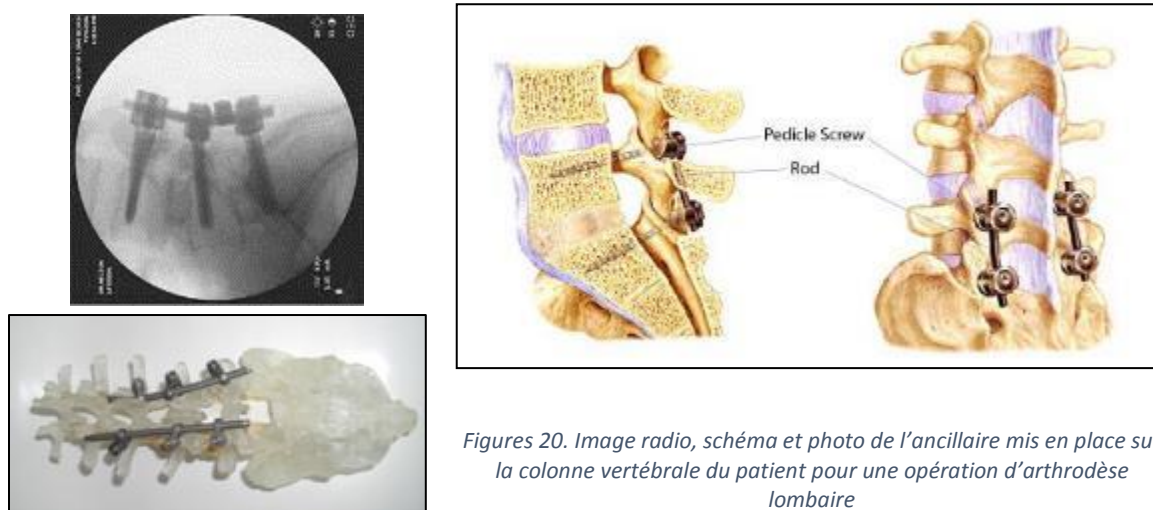
Le chirurgien orthopédique Jérôme Tonetti (JT, chef d'unité fonctionnelle de traumatologie et d'orthopédie au CHU de Grenoble) est spécialiste des opérations de chirurgie traumatique au niveau de la colonne vertébrale ; dans ce cadre, les chirurgiens de cette unité effectuent régulièrement des opérations d'arthrodèse lombaires. Celles-ci consistent à remettre en état la colonne vertébrale d'un patient ayant subi un grave traumatisme (fracture, choc, etc.) au niveau des vertèbres lombaires (suite à une chute de parapente, de moto, de ski, etc. ; situations très fréquentes dans les régions de montagne).

Cette intervention est très traumatisante pour le patient et les contraintes postopératoires peuvent être très douloureuses (notamment à cause du décollement des muscles vertébraux) et



handicapantes (anesthésie totale de longue durée, long séjour à l'hôpital, nombreuses semaines d'arrêt de travail, etc.). Cette opération nécessite en effet une incision conséquente (12 à 25 centimètres) dans le bas du dos du patient et la mise en place d'un appareillage lourd pour redresser la colonne vertébrale (figures 19 et 20).

*Figure 19. Ancillaire mis en place sur la colonne vertébrale du patient lors de l'opération d'arthrodèse lombaire.*



Figures 20. Image radio, schéma et photo de l'ancillaire mis en place sur la colonne vertébrale du patient pour une opération d'arthrodèse lombaire

Pour réduire ces conséquences postopératoires handicapantes, le docteur JT a exprimé le besoin de disposer d'outils chirurgicaux mini-invasifs. Ceux-ci devraient permettre de réaliser l'opération d'arthrodèse lombaire non pas en faisant de grandes incisions, mais en venant placer l'outillage nécessaire à l'intervention par de petites entailles judicieusement positionnées au bas du dos du patient. Il pose comme contrainte d'utiliser une technique nouvelle mais pas trop innovante, c'est-à-dire s'appuyant sur des gestes déjà acquis et des outils dérivés d'autres types d'opérations de type MIS. Les figures 21 montrent les résultats souhaités grâce à la conception de ce nouvel instrument chirurgical.



Figures 21. Dessin de la situation de l'intervention chirurgicale souhaitée et de ses conséquences post-opératoires



Cette situation constitue pour nous un cadre concret pour concevoir un nouvel instrument chirurgical. Cette activité de recherche action nous a permis de mettre en exergue quelques outils et spécificités de conception que nous allons revendiquer ci-dessous.

Ce type d'opération se prête mal à une description verbale car les actes et les gestes passent par des «ressentis», des retours d'effort proprioceptifs et des représentations cognitives fondées sur la mémoire des gestes, des représentations anatomiques imagées et des cas d'expérience accumulés. La question de l'élicitation de ces paramètres est donc au centre de notre problématique. Nous partons du principe que le chirurgien est le mieux placé pour faire émerger ses besoins, non pas nécessairement de manière verbale mais par une mise en situation expérimentale gestuelle.

Les termes médicaux utilisés couramment par le corps médical et employés pour l'expression de leurs besoins ne permettent généralement pas une compréhension immédiate de la part des

concepteurs d'outils. Les « mises en situations » font néanmoins partie des techniques utilisées par les industriels pour tester les premiers prototypes mis à la disposition des chirurgiens. Cependant, les outils employés pour cette étape de la conception ne sont pas encore totalement efficaces et bien définis et les analyses qui en découlent restent vagues et parfois imprécises. Ceci engendre souvent un dysfonctionnement dans le cycle de définition du produit et donc dans son processus de conception.

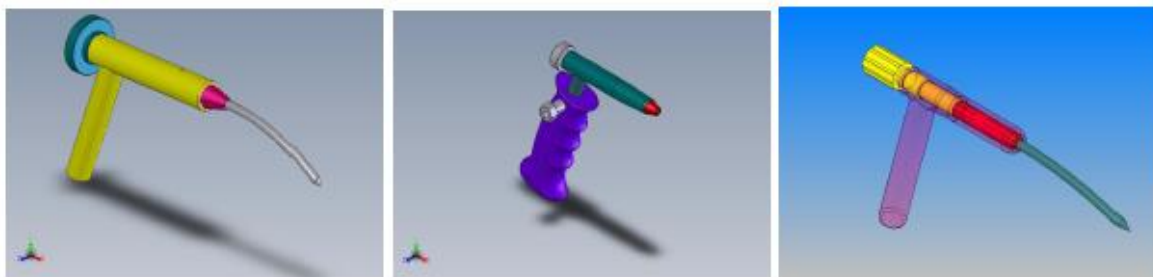
#### b. Prototypes, scénario d'usage et émulation

Les premiers travaux ont tout naturellement commencé par des participations aux interventions chirurgicales permettant aux chercheurs, concepteurs et étudiants de comprendre les situations opératoires actuelles. Plusieurs processus ont ainsi pu être formalisés, notamment grâce au travail d'un étudiant de master recherche en 2006 (Morgan Verdier) [OU 1]. Ce travail initial a permis la validation d'une base de travail commune entre les PH et l'équipe de concepteurs-chercheurs. Il est effectivement primordial de confronter ces visions pour éviter ensuite des incompréhensions dues aux spécificités métiers.

Lors de ce travail de recherche, des notions théoriques ont été mobilisées, confrontées aux situations de conception et adaptées en fonction des besoins et des orientations stratégiques choisies. Nous avons ainsi créé des **prototypes physiques** d'instruments chirurgicaux, mais également de **mannequins** dédiés aux expérimentations. Pour permettre le bon déroulement de ces expérimentations en salle d'opération, les prototypes ont été mis en scène par l'intermédiaire de scénarios d'usages personnalisés et identifiés comme **scénarios étendus**. Ceux-ci ont permis de confronter les versions des prototypes avec les évolutions des usages discutés avec les chirurgiens lors d'**émulations**. Pour assurer une analyse détaillée et pertinente de ces situations de confrontation produit et usage, un **outil d'observation** spécifique a été choisi et paramétré en conséquence. Les sections suivantes sont dédiées aux définitions de ces différentes revendications théoriques très orientées terrain.

#### Prototypes d'outils chirurgicaux et de mannequins

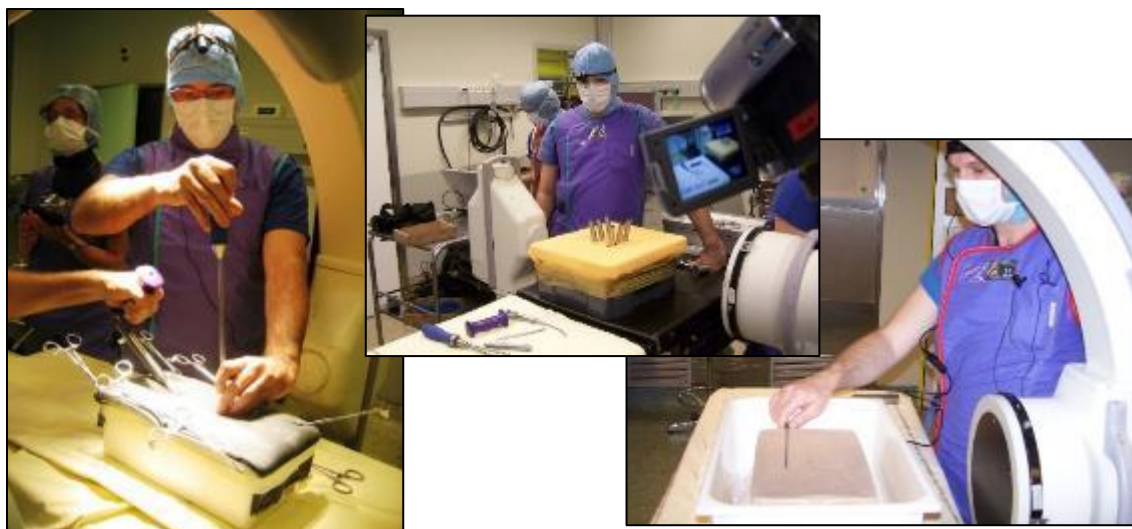
Lors de cette activité médicale au CHU, quatre prototypes d'instruments chirurgicaux ont été développés et fabriqués. Les illustrations CAO des trois dernières versions sont visibles en figures 22.



Figures 22. Images CAO de trois propositions d'instrument chirurgical pour l'arthrodèse lombaire

Ces versions ont été validées successivement avec les chirurgiens, lors d'expérimentations in situ en salle d'opération. De manière identique aux instruments chirurgicaux, des réflexions sur les évolutions des conditions opératoires, et notamment sur les mannequins mobilisés, ont été nécessaires (figures 23). Nous avons ainsi validé méthodologiquement les améliorations successives des conditions expérimentales en fonction des besoins et des exigences des utilisateurs et des concepteurs.





Figures 23. Trois situations expérimentales avec différentes conceptions de mannequins.

### Emulations

Les mises en situations expérimentales font partie des techniques utilisées pour tester les prototypes mis à la disposition des chirurgiens. Cependant, les outils théoriques employés pour cette phase du processus de la conception ne sont pas totalement efficaces car mal adaptés au présent contexte. En conséquence, les analyses qui en découlent restent vagues et parfois imprécises pour les concepteurs. C'est pourquoi, en concertation avec les chirurgiens et les concepteurs, un nouvel outil d'analyse basé sur l'émulation a été proposé.

La raison d'être de l'émulation est d'aider les concepteurs à valider leurs idées de conception par les utilisateurs, dans une situation dans laquelle ils ne peuvent pas jouer le rôle de l'utilisateur. Ainsi l'émulation est la situation dans laquelle l'utilisateur évalue un prototype physique par la manipulation dans des conditions d'usages. Par conséquent, l'étape d'émulation dans le processus de conception est le moment où la confrontation a lieu entre les besoins connus/inconnus, et la solution technique proposée [CI 16] [CI 17].

En conséquence, l'organisation d'une émulation est possible quand un prototype est fabriqué pour être testé et évalué par l'utilisateur, en vertu d'un scénario d'utilisation. Ce qui se passe pendant une émulation est l'échange de connaissances entre l'ingénieur et l'utilisateur concernant l'instrument et son utilisation. Bien que la connaissance soit tacite et qu'il n'y ait pas d'accès, il existe certains objets pour tracer de cet échange. Par exemple, les questions/réponses entre acteurs constituent un objet traçable par l'observation et la capture. En outre, des modifications de prototype ou scénario d'utilisation entre deux émulations indiquent les modifications en fonction de l'accord précédent. Une émulation est définie par les facteurs suivants: l'identification, l'objectif, les acteurs, l'entrée, le corps, et la sortie. Le tableau 13 résume chronologiquement les réalisations des quatre émulations effectuées durant ce travail.

### Scénarios étendus

Les travaux et expériences de PD et de SBD mettent en avant le rôle important de l'utilisateur notamment lors de la préparation des scénarios [CI 13]. Ils nous aident à appréhender leurs mises en place et à les instrumentaliser de manière optimale. Il est cependant indispensable de penser et de prévoir l'analyse des émulations lorsque notre objectif est de faire évoluer le produit et son utilisation vers les exigences des utilisateurs.

	Date	Main goal	Operation time	Total emulation time	Surgeon
Emulation 1	23/06/2006	Idea evaluation of Protige	15 min	30 min	Dr. Vouaillat
Emulation 2	12/01/2007	Evaluation of Protige-tubular retractor system	25 min	50 min	Dr. Tonetti
Emulation 3	13/06/2007	Proof of concept	40 min	60 min	Dr. Vouaillat, Dr. Tonetti*
Emulation 4	08/02/2008	Idea evaluation of Protige	45 min	90 min	Dr. Tonetti, Dr. Vouaillat*

Tableau 13. Résumé des émulations réalisées avec les chirurgiens en salle d'opération

Notre proposition de scénario étendu (figure 24) est une version adaptée à la situation de conception rencontrée avec les chirurgiens [CI 18] [CI 22] [CI 23].





Scenario (operation procedure)		Instrument prototype	
Identifying the fractured vertebra Incision (1-2 cm) Insertion tubular retractor Position screw Incision (0.5 cm) Insertion rod by rod holder Fix the rod in screws head Release the rod holder		Receive the rod (swerving mechanism) Hold the rod during insertion Release the rod <b>Evaluation criteria</b> Ergonomic of the handle Weight of the prototype Size of rod housing part Feasibility of manipulation in presence of tubular retractor	
Emulation situation		Observation	
Operating room at hospital C-arm radiography Phantom: spine model with a fracture on L1, positioned in a box, filled by synthetic plastic granules, covered by artificial tissue		A general camcorder on operation site A frontal camcorder on surgeon's head, capturing where he looks Sound recorder	

Figure 24. Exemple de scénario étendu proposé pour le bon déroulement d'une émulation

En plus du scénario à suivre par les utilisateurs (état dans lequel le scénario doit débiter ainsi que les principales étapes à suivre et à valider), il comprend les descriptifs précis:

- de la version du prototype à utiliser lors de l'émulation ainsi que ses fonctions à valider par l'utilisateur (nouvelles ou non),
- de la situation de l'émulation dans sa globalité : lieu, objectifs, état général du contexte permettant son déroulement,
- des conditions générales de l'observation : les équipements à utiliser lors de l'émulation (par exemple microphone, caméra frontale, eyetracker) pour pouvoir analyser a posteriori les

données pour lesquelles l'émulation est réalisée.

Les réalisations des émulations, via le descriptif par scénarii étendus, permettent aux chercheurs de récupérer un nombre important de données. L'objectif étant de proposer aux concepteurs de nouveaux outils et méthodes pour faciliter les compréhensions des besoins des utilisateurs, ces données doivent être analysées consciencieusement. Malheureusement, ces temps d'analyse peuvent être très importants et des outils particulièrement adaptés sont nécessaires pour effectuer ce travail. C'est pour cela que nous avons orienté une partie de nos activités de recherche vers des définitions d'outils d'analyse de l'activité.

#### *Outil d'analyse : bagage pour comprendre et intégrer l'expert*

Les travaux de prospectives pour identifier un outil d'analyse performant correspondant à nos attentes, nous ont permis d'orienter nos choix vers The Observer XT®, un outil professionnel commercialisé par Noldus Information Technology, Netherlands [CE 26] [CI 27]. Le travail autour de cet outil a notamment initié une collaboration très intense avec l'équipe Multicom du Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG). Il permet la capitalisation, l'analyse et la représentation de données d'observation. Il offre la possibilité de définir des variables indépendantes et de les relier à une situation d'observation spécifique. Lors de l'utilisation de cet outil, notre objectif principal était d'extraire et d'analyser les communications entre les chirurgiens et les ingénieurs concepteurs. Elles étaient basées sur les discussions autour des manipulations des prototypes et leurs utilisations dans la salle d'opération. L'outil d'analyse permet la classification en trois catégories (*Subject*, *Behavior* et *Modifier*), sans limitation de configuration de sous-catégories. Pour nos analyses, (1) *Subject* définissait un chirurgien ingénieur ou une tierce personne, (2) *Behavior* permettait de définir le type d'action (mouvement gestuel, de contrôle ou de verbalisation) réalisé par le *Subject* et (3) le *Modifier* était défini comme un élément extérieur (matériel ou autre *Subject*) interagissant avec le *Subject* (figure 25).

Outre le fait que The Observer XT® est relativement facile à prendre en main, il permet une configuration des catégories et sous-catégories de manière relativement intuitive. De plus, une fois tous les paramètres initiaux configurés, l'interface pour le codage est ergonomique et aisée à manipuler. Par contre, le temps à passer pour ce travail est très important : une heure de codage pour quelques minutes de film. Une fois ce travail effectué, un ensemble de statistiques descriptives est disponible et les graphiques pré-formatés sont d'une très grande aide. Un élément qui nous a réellement permis de progresser et de proposer des solutions pour les concepteurs concerne le couplage possible sous-catégories/vidéo. Effectivement, sur les 90 minutes de la quatrième émulation, il a été possible d'extraire uniquement quelques séquences couplées avec les critiques verbales des chirurgiens pour proposer aux concepteurs un extrait de 6 minutes comprenant 90% des remarques pertinentes des utilisateurs.

Cet outil professionnel d'observation et d'analyse utilisé est relativement puissant et performant pour une analyse de travail collaboratif, mais reste onéreux et coûtant en temps de traitement. De plus, les nombreuses fonctions disponibles peuvent rendre son utilisation complexe et dépendante d'une configuration précise et exacte. Cependant, grâce au soutien des ingénieurs et chercheurs du LIG, nous avons eu des facilités à le prendre en main.

Durant quelques années, des activités pédagogiques de conception de produits chirurgicaux ont été organisées avec des étudiants. Elles leur ont permis de rencontrer des chirurgiens et de se rendre compte, par les expérimentations, des difficultés de collaboration avec ces professionnels [CI 29]



[CI 30]. Ils ont également pu manipuler l'outil d'observation et d'analyse ANVIL, téléchargeable gratuitement et plus facile d'utilisation (configuration et analyse statistique).

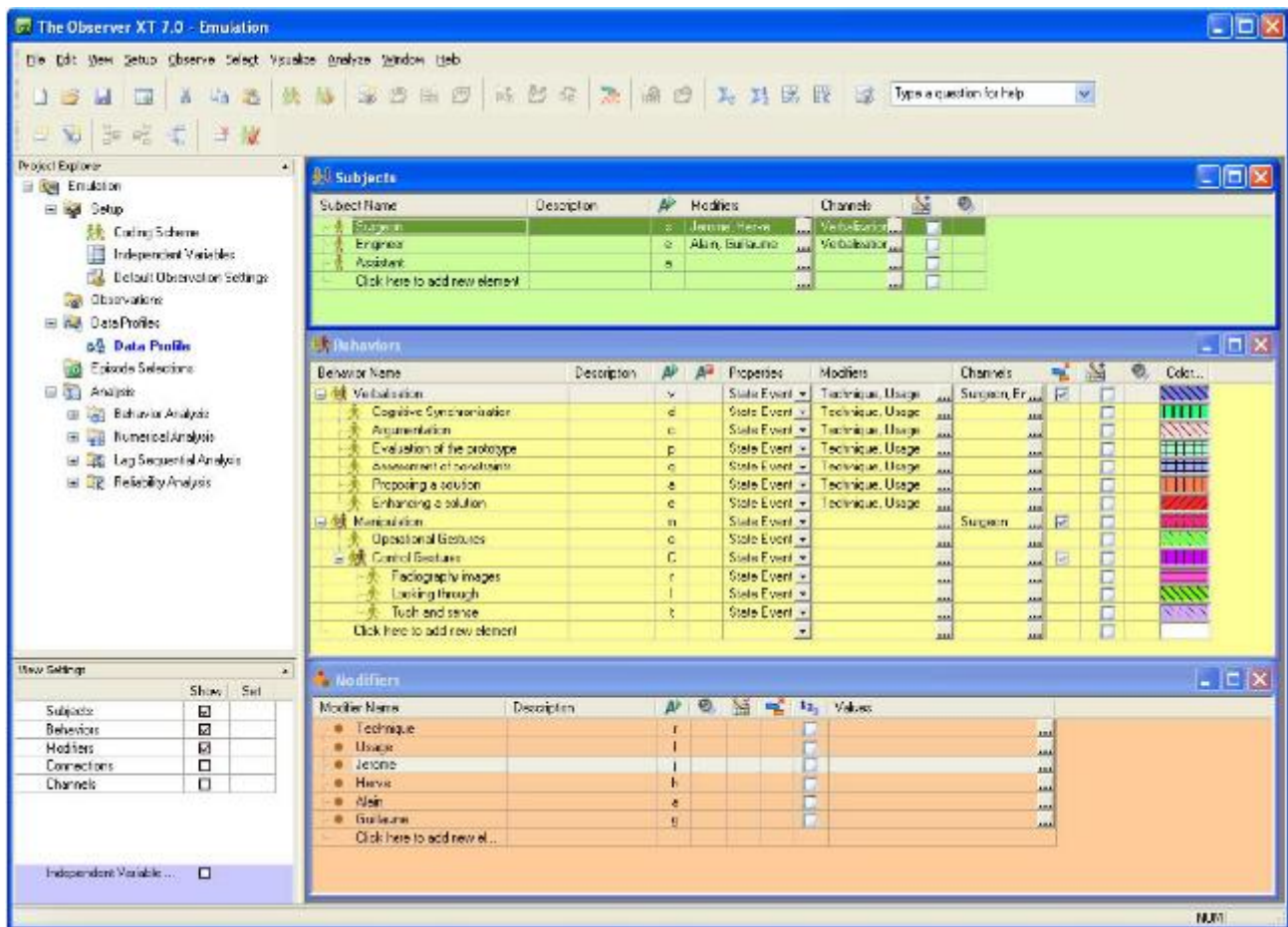


Figure 25. Configuration des catégories et sous-catégorie avec l'outil The Observer XT®

### c. Quel rôle pour l'utilisateur expert ?

Une de nos revendications principales a été la définition de l'utilisateur expert avec qui les concepteurs ont à traiter pour définir les contours de l'objet de conception [AI 3] . Les spécificités qui indiquent clairement que ce type de produit est développé avec des utilisateurs experts sont notamment :

- les utilisateurs ont un savoir-faire et des connaissances tacites leur permettant d'effectuer les activités. Elles sont généralement difficiles à formaliser par opposition aux connaissances explicites,
- les situations d'usage comprennent des moments critiques et dangereux qui peuvent avoir des conséquences hasardeuses voire graves,
- le concepteur ne peut en aucun cas remplacer l'utilisateur pour simuler les tâches.

L'étude relatée ici explore la collaboration dans le processus de conception entre les concepteurs et utilisateurs experts. Les analyses des prises de décisions et de la nature des interactions ont été effectuées. Nous avons ainsi pu comparer le contenu des discussions et mettre en évidence les capacités à résoudre les problèmes de conception, avec et sans la participation active des utilisateurs experts (réunion1 et réunion2).

Pour effectuer cette analyse de manière approfondie, deux types d'interactions ont été identifiés et observés. La première concerne une catégorie d'interactions spécifiques pour l'évaluation des réunions de conception ; elle comprend la synchronisation cognitive, l'argumentation, l'évaluation de la solution, l'évaluation de la contrainte, la proposition de solution et enfin l'amélioration de la solution. Sur la figure 26, les résultats montrent la répartition du temps de parole consacré au type d'interaction défini. Mis à part un temps de synchronisation cognitive plus important, nous y remarquons notamment une diminution significative des activités d'argumentation au profit d'un temps plus conséquent consacré aux améliorations de solutions.

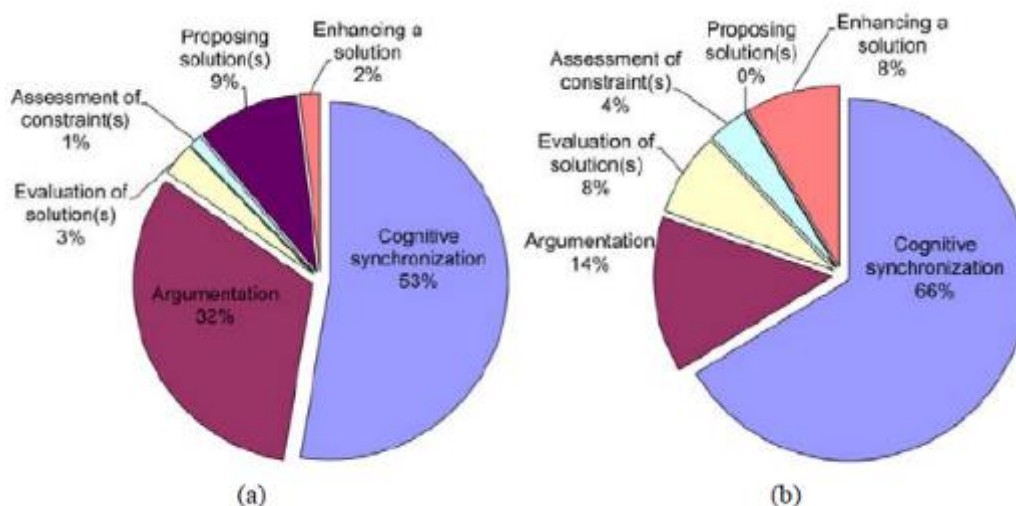


Figure 26. Répartition des types d'interactions de conception dans les deux réunions d'évaluation, (a) réunion1, évaluation de la conception entre ingénieurs ; (b) réunion2, l'évaluation avec l'utilisateur (chirurgien)

La seconde partie de notre réflexion concernait les contenus des discussions consacrés aux aspects techniques de la conception et ceux dédiés à l'usage de l'outil chirurgical. Le graphique proposé en figure 27 illustre le contenu des discussions (réunions 1 et 2) relatives aux types d'interaction de conception.

Nous y remarquons que pour les critères d'évaluation de solution, d'argumentation et de synchronisation cognitive, il n'y a pas de différence significative entre les deux réunions. Par contre, les évaluations des contraintes et les améliorations des solutions sont naturellement plus orientées usage lors d'une réunion avec la présence d'un utilisateur expert.

En plus d'autres éléments théoriques et analyse méthodologiques présents dans l'article [AI 7], les résultats de ces expérimentations ont montré qu'en l'absence de l'utilisateur, les concepteurs ont été incapables de prendre des décisions sur les solutions techniques relatives à des problèmes d'utilisation du prototype. Il est observé aussi que les commentaires de l'utilisateur expert lors de la réunion suivante ont remis en cause de manière significative leurs décisions. De plus, lors de ce travail, les concepteurs ont largement eu l'occasion de manipuler l'outil de conception asynchrone Annot'Action (figure 28).

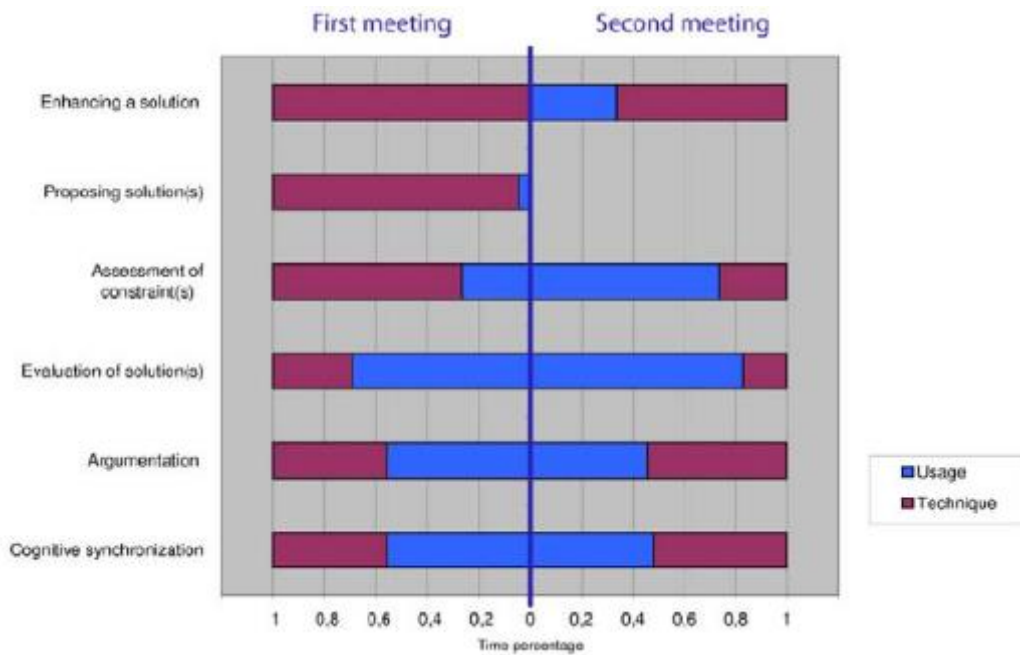


Figure 27. Comparatif du contenu des discussions entre les participants des réunions 1 et 2. Critères usage-technique contenu dans les six critères spécifiques

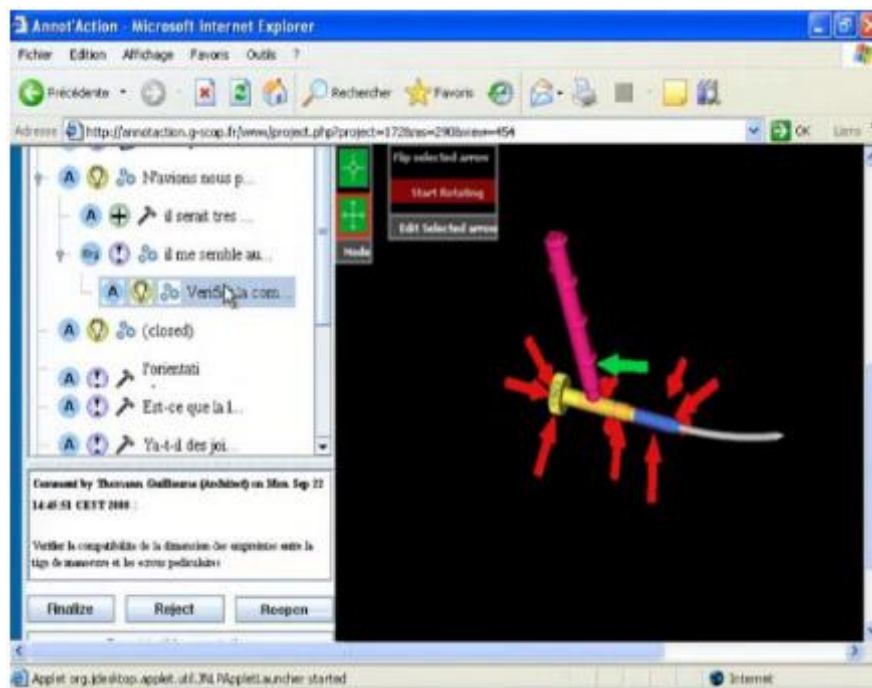


Figure 28. Interface de l'outil Annot'Action suite à l'utilisation de manière asynchrone par tous les concepteurs du projet.

Nous remarquons sur l'écran principal de la figure 28, toutes les flèches symbolisant les annotations des concepteurs sur des points techniques spécifiques et dans l'arborescence (à gauche), l'arbre d'argumentation de ces annotations. Ceci nous a donné également quelques informations sur les possibilités, avantages et inconvénients de ce type d'outil avant et pendant les réunions. Ces observations supplémentaires indiquent que l'utilisation d'un outil support pourrait avoir un rôle important pour aider les communications asynchrones dans un tel processus de conception

Cette étude valide le rôle essentiel de l'utilisateur expert en conception de produit. La figure 29 montre les décisions prises durant la réunion 2 à laquelle l'utilisateur a assisté. Nous remarquons que des décisions finalisées après la réunion 1 ont été rejetées par l'utilisateur. Ceci inclut même des problématiques techniques comme les décisions numéros 6 et 10 qui nécessitent modification voire émulation pour validation.

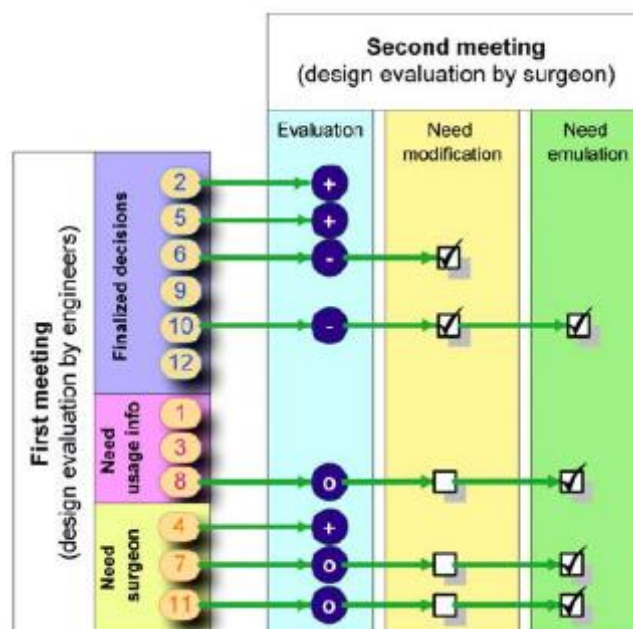


Figure 29. Evolution des statuts des décisions prises dans la réunion 1, durant la réunion d'évaluation avec l'utilisateur

En résumé, nous avons pu montrer que pour la conception d'un tel produit, lorsque son utilisateur est considéré comme expert, les savoir-faire des utilisateurs jouent un rôle important durant les phases de validation tant techniques que relatives à l'usage.

#### d. Processus co-évolutif produit et usage

Dans le contexte chirurgical étudié, la méthode de conception proposée doit encourager la collaboration, associer les capacités des concepteurs et celles des chirurgiens pour favoriser la créativité. Elle doit permettre la proposition d'une conception innovante directement associée à une situation opératoire validée avec les utilisateurs experts.

Dans le dictionnaire Merriam-Webster, coévolution<sup>7</sup> est défini comme: «l'évolution impliquant successive des changements dans deux ou plusieurs espèces écologiquement interdépendantes qui affectent leurs interactions». Par conséquent, ce que nous entendons par la coévolution dans la conception est le développement parallèle de deux ou plus objets interdépendants de conception, dans lequel la progression de l'un influe sur les autres, et sur leurs interactions. Dans le cadre de notre recherche, un tel phénomène a été observé : la coévolution du nouveau prototype d'instrument et la nouvelle procédure d'utilisation, tout au long du processus de conception. En d'autres termes, l'évolution du prototype d'instrument montre une interdépendance avec l'évolution du scénario d'utilisation.

<sup>7</sup> <http://www.merriam-webster.com/dictionary/coevolution> (consulté le 08/03/2016)



Dans la figure 30, ce concept est montré en prenant l'exemple de la conception de l'instrument chirurgical Protige. Pour chaque émulation, une solution a déjà été réalisée sous la forme d'un prototype et un procédé d'utilisation démontrant la réponse à la dernière expression du problème. Au cours de l'émulation, le chirurgien confirme la fonctionnalité de l'instrument en le manipulant lors d'un scénario étendu.

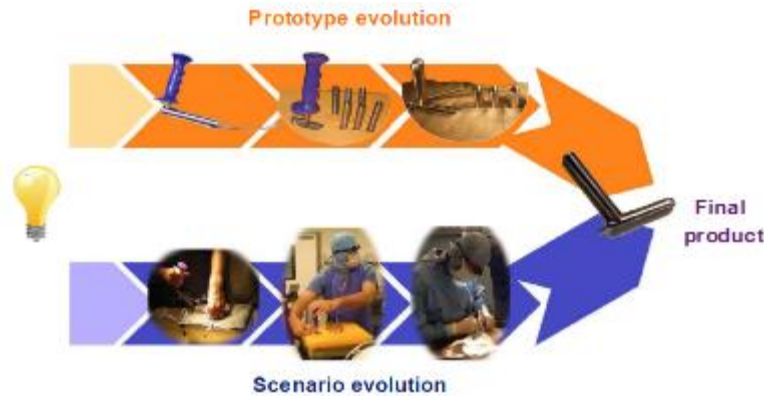


Figure 30. Evolution du prototype et du scénario lors de la conception de l'instrument Protige

Dans le contexte actuel, il est alors possible de schématiser la définition du concept d'émulation par la figure 31. L'émulation doit être suivie d'une réunion de débriefing dans laquelle concepteur et utilisateur peuvent communiquer sur leurs évaluations et prendre des décisions pour le développement suivant. Notre expérience a montré que cette réunion peut avoir lieu pendant ou juste après l'émulation, quand un certain développement est nécessaire avant toute nouvelle décision et réunion. Enfin et surtout, l'émulation est une étape qui sera répétée jusqu'à atteindre les objectifs finaux de conception de l'instrument et de son utilisation.

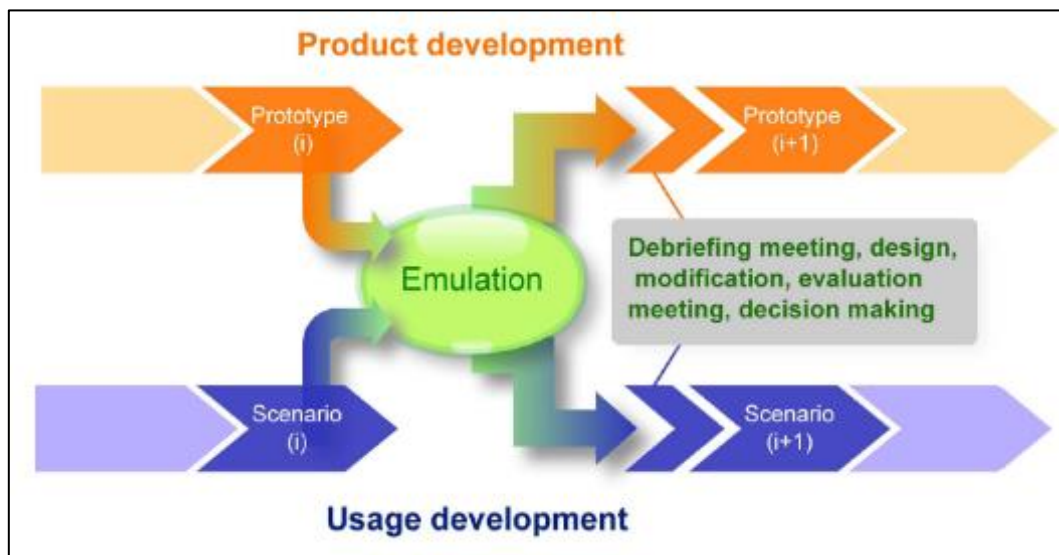


Figure 31. Etape d'émulation dans le processus de conception co-évolutive

Du point de vue descriptif, la coévolution du produit et de son usage au cours de la progression du projet est évidente. Le modèle prescriptif de processus de conception propose les étapes et les tâches pour progresser de l'idée initiale à la solution finale. En mixant les deux propositions (descriptive et prescriptive), il est possible de proposer un modèle de processus de conception co-évolutive produit-usage (figure 32). Cette figure montre comment le prototype, comme une représentation du produit, et le scénario, comme une représentation de l'usage, co-évoluent en suivant les étapes successives du processus de conception.

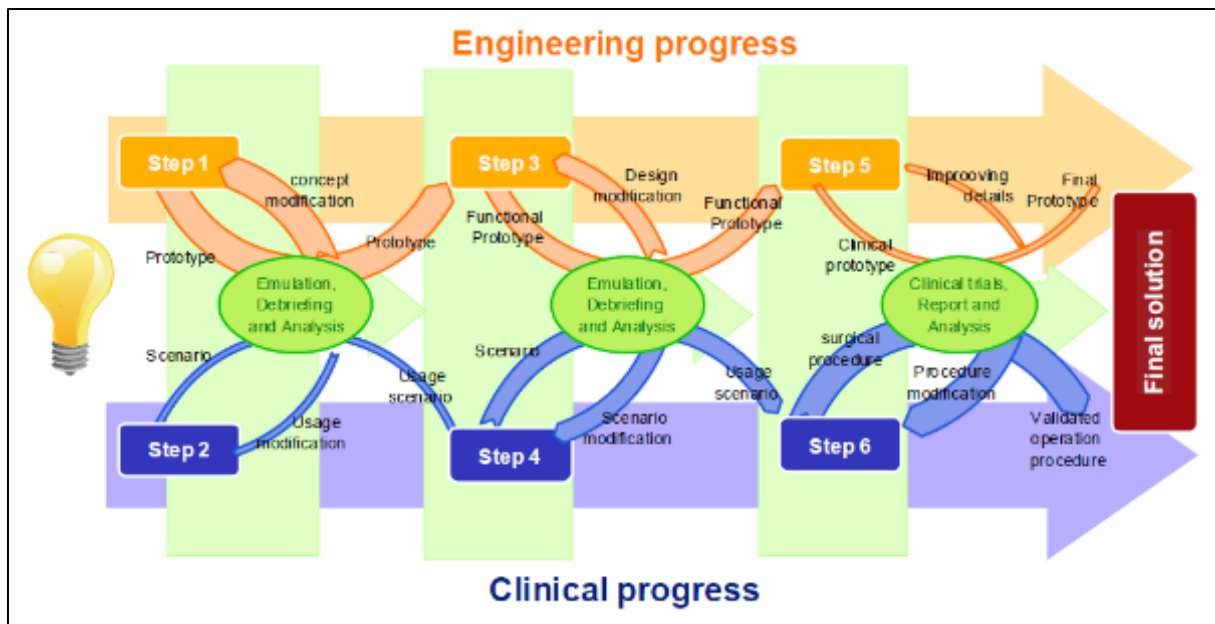


Figure 32. Modèle de processus de conception co-évolutive pour des instruments chirurgicaux

Au début de la conception, dans la première phase, le concepteur cherche à comprendre l'utilisation et à générer des idées. L'espace collaboratif y compris l'émulation, les débriefings de réunion, et les analyses aident à trouver le meilleur concept pour la solution. A ce niveau, les évaluations sont davantage axées sur les questions techniques que sur les usages. Mais, comme la conception progresse, les émulations, les réunions et les analyses suivantes contiennent principalement des retours sur les usages et ainsi sur les modifications du scénario d'utilisation. Dans la troisième phase, au cours des essais cliniques, il y a peu de modification de conception pour les questions techniques et au contraire beaucoup de retours et de demandes de modifications dues aux techniques d'usages pour valider la meilleure procédure d'utilisation.

Les étapes 1, 3 et 5 sont les étapes les plus techniques liées à la progression de l'ingénierie. De la même manière, les tâches plus cliniques sont situées dans les étapes 2, 4 et 6. Les six étapes proposées sont structurées plus précisément dans le document de thèse de Rahi Rasoulifar et contiennent des entrées, des sorties et des objectifs communs permettant de réaliser les émulations. Dans la figure 32, les itérations sont bien visibles ainsi que les entrées et sorties de chaque émulation. Les flèches de coévolution passent par les étapes paires et impaires, où un prototype ou un scénario représente la progression de la conception. Nous y schématisons également des boucles itératives possibles entre les étapes et les émulations pour insister sur les évolutions des constructions des scénarii étendus de définition des usages. Enfin, les épaisseurs de flèches montrent un aspect grandissant du poids de l'usage en fin de processus par rapport aux aspects techniques plutôt présents de manière prépondérante en début de processus.

#### e. Retour haptique, réalité virtuelle (RV) et outils d'interaction

Les résultats présentés précédemment sont très encourageants et montrent un réel potentiel quant aux possibilités d'innovations technologiques. Dans ce contexte très positif, l'équipe de recherche du laboratoire G-SCOP a pu breveter un choix technologique permettant la prise d'une tige universelle (indépendamment du fabriquant) dans le corps de l'instrument nommé Protige [BR 2]. Dans la situation actuelle, la réalisation des émulations nécessitent un temps de préparation et une organisation relativement complexe, notamment en ce qui concerne l'utilisation des moyens et

équipements chirurgicaux du CHU. Nous avons la chance de disposer d'équipements de dernière génération sur la plate-forme GI-Nova de l'AIP Primeca DS. Ainsi, nous avons proposé de les mobiliser pour tenter de diminuer les temps de préparations et de configurations qui peuvent être faites sur place et à notre rythme. Cette stratégie permet d'évaluer une conception à moindre coût et plus rapidement parce que

- il n'est pas systématiquement nécessaire de fabriquer le prototype physique.
- il est possible de créer rapidement des conditions expérimentales permettant de tester un grand nombre de situations d'usages.

La création d'un environnement chirurgical virtuel devrait permettre aussi aux chirurgiens d'effectuer les manœuvres opératoires avec une sensation haptique comme dans l'environnement chirurgical réel.

De plus, les moyens humains et financiers disponibles à G-SCOP et à l'AIP Primeca DS ne pouvaient de loin pas concurrencer les compagnies privées lancées dans cette course à l'innovation. Face à cette situation, nos décisions stratégiques ont été de proposer l'utilisation de moyens technologiques innovants pour tester leur utilisabilité et leur pertinence dans un processus de conception de produit chirurgical.

Les applications haptiques sont de mieux en mieux intégrées dans les dispositifs de réalité virtuelle, ajoutant le sens du toucher aux solutions antérieures qui ne sont que visuelles ou sonores et visuelles. Le retour haptique est une technologie de rétroaction tactile qui privilégie le sens du toucher d'un utilisateur en appliquant des forces, des vibrations ou d'autres comportements à l'utilisateur. Cette stimulation mécanique peut être utilisée par exemple pour contrôler ces objets virtuels, et pour améliorer le contrôle à distance des machines et des appareils.

L'application de la technologie de Réalité Virtuelle (RV) dans les processus de conception de produits permet d'offrir plus qu'un outil pour l'analyse. Elle offre également des opportunités aux futurs utilisateurs de synthétiser eux-mêmes les informations de conception. En respectant les contraintes de l'environnement virtuel, fixées et gérées par le concepteur, les utilisateurs peuvent tester des scénarii d'usages, définir et évaluer des modèles de prototypes directement par leurs confrontations au sein des scénarii.

Il s'agit donc de réfléchir aux possibilités d'utilisation du bras à retour d'efforts pour que les chirurgiens retrouvent des sensations proches de la pratique en bloc opératoire sur la colonne vertébrale du patient. Nous voulons également valider la stratégie proposée d'utilisation de ces outils technologiques innovants disponibles. Nous avons à définir (1) les conditions de manipulation de l'interface homme machine (IHM), (2) les paramétrages de l'environnement virtuel modélisant l'espace opératoire, mais également (3) la situation de l'utilisateur dans la salle d'expérimentation, en travaillant à une immersion efficace du PH (visuel et de ressenti haptique). Plus concrètement, ce travail a donc consisté à mettre en place à la fois une interface graphique permettant de se rapprocher au maximum d'une intervention réelle mais également de concevoir et de réaliser une IHM physique permettant de manipuler le bras haptique de façon naturelle et proche de l'instrument Protige. Elle a été conçue pour pouvoir ressentir au mieux l'interaction avec la modélisation 3D du squelette du patient.

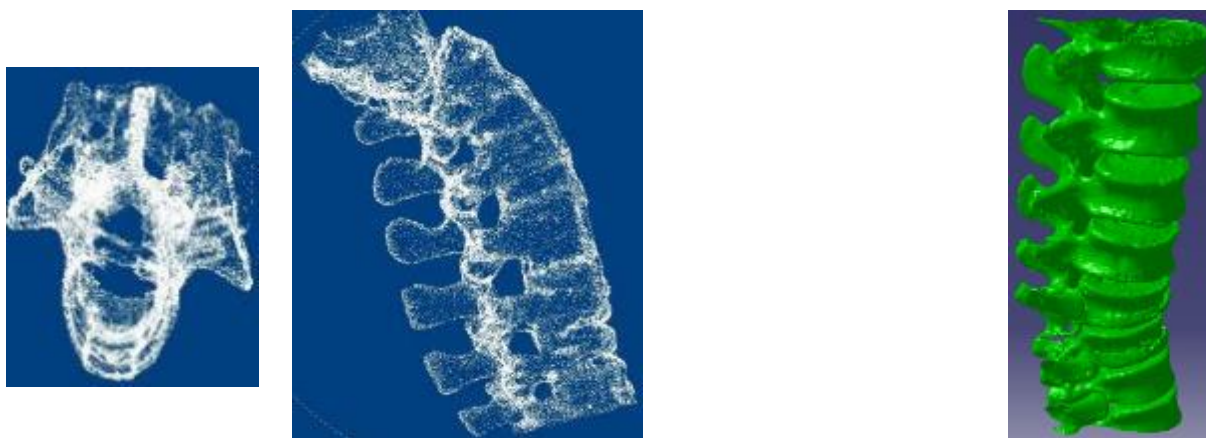
La conception d'une salle d'opération virtuelle dans un environnement ergonomique, avec une étude spécifique sur l'IHM pour effectuer de la MIS a été proposée. Le logiciel de conception et

simulation assistée par ordinateur CATIA a été utilisé dans le cadre des stages de Master Recherche de DANG en 2009, AOUKILI en 2011, PHAN NGUYEN en 2012 et MOHD NAZRI en 2013. Les principales problématiques techniques et résultats expérimentaux sont présentés ci-dessous.

#### *Construction de l'environnement virtuel*

Deux méthodes permettant de reconstruire en 3D une colonne vertébrale adaptée à notre contexte expérimental ont été testées :

- Une première, en utilisant un scanner 3D pour numériser une colonne vertébrale physique en polyuréthane. Toutes les opérations techniques consistaient en la transformation des fichiers obtenus pour recréer un volume à partir de l'obtention d'un nuage de points (figures 33 a). Nous avons notamment rencontré des difficultés concernant un fichier de données complexe de très grande taille à traiter, de nombreuses erreurs dans les modèles maillés et surfaciques, et des temps de calcul très importants.
- Une seconde, grâce à une reconstruction 3D d'une série d'images obtenues par scanner tomodensitométriques. Cette technique permet d'obtenir une série de plusieurs clichés représentant la zone scannée en coupe, sur différentes épaisseurs. La sensibilité de l'appareil est beaucoup plus fine que celle de la radiographie classique, ce qui permet d'obtenir une grande précision des images. Un travail en relation étroite avec un ingénieur de recherche du LIG nous a permis d'obtenir cette reconstruction représentée en figure 33 (b).



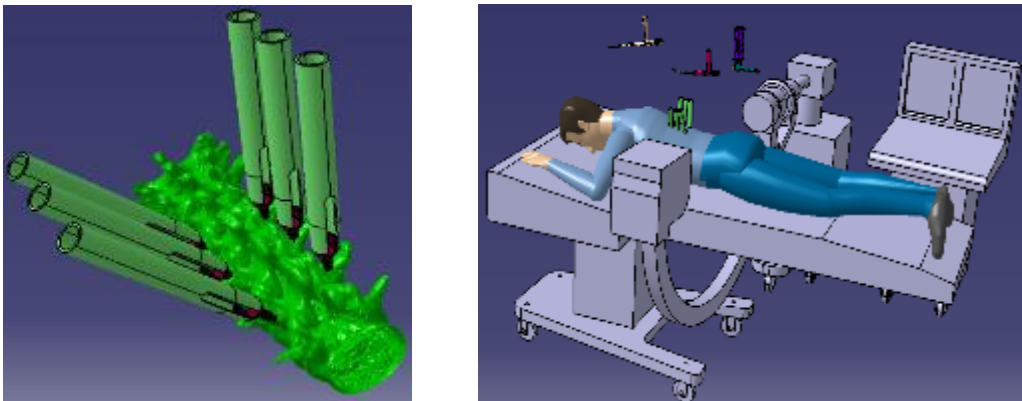
*Figures 33. Deux méthodes de reconstruction de la colonne vertébrale. (a) nuage de points obtenus par scanner 3D ; (b) reconstruction volumique à partir d'un scanner tomodensitométrique*

Les implants orthopédiques nécessaires à l'utilisation de l'instrument Protige ainsi que les équipements médicaux ont été modélisés et intégrés dans l'environnement virtuel pour recréer l'espace opératoire, en phase avec les préconisations des PH (figures 34 a et b). Sur la figure 34, nous pouvons observer les six vis et les six canons de passage permettant l'insertion des vis dans les vertèbres de manière percutanée. Trois versions différentes de Protige sont également représentées sur la figure 34 (b).

Diverses discussions avec les utilisateurs nous ont permis d'aboutir progressivement à une version, certes moins représentatives visuellement, mais plus proche de la réalité opératoire (figure 35). Premièrement, la reconstruction 3D fournit le résultat d'une colonne vertébrale complète, fine, mais indéformable. Nous avons donc ajouté des degrés de liberté en phase avec les études bibliographiques anatomiques. De plus, Protige se manipule par le chirurgien à travers un orifice créé



à la surface de la peau, à quelques centimètres des orifices des canons de passage. Le passage par cet orifice réduit considérablement les possibilités gestuelles du praticien durant l'intervention chirurgicale. Il a donc lui aussi été ajouté au modèle numérique dans l'environnement virtuel.



Figures 34. (a) Colonne vertébrale instrumentée avec six vis pédiculaires et les canons de passage correspondants; (b) reconstruction de l'espace opératoire ainsi que de trois versions de l'instrument chirurgical Protige

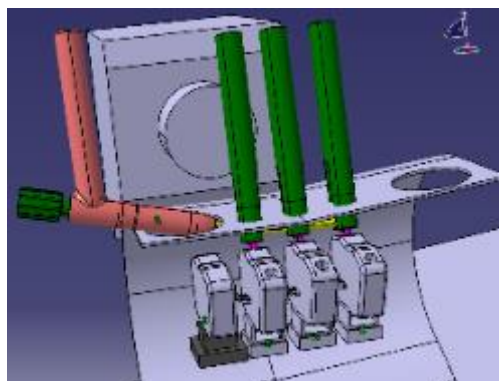


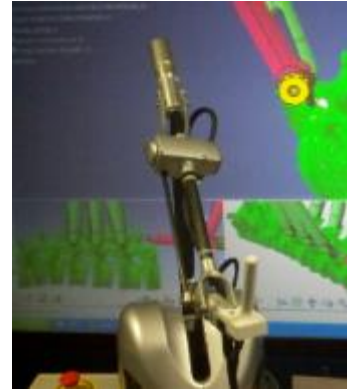
Figure 35. Version définitive des modèles du patient et de la colonne intégrant les dernières recommandations du chirurgien

### *L'interface homme machine*

Le questionnement à propos de l'IHM a évidemment été au cœur de notre réflexion. Tout au long de l'étude effectuée, nous avons pu faire évoluer cette interface avec l'utilisateur expert : de l'interface commerciale du robot à retour d'effort (figure 36 a), à une interface réalisée en impression 3D en technologie Z-Printer (figure 36 b), disponible sur la plate-forme GI-Nova. Ayant déjà les prototypes physiques disponibles, nous avons orienté nos décisions vers une plus grande proximité entre le modèle virtuel et physique jusqu'à les confondre. Les figures 37 (a) et (b) illustrent le cas de la dernière version de Protige, liée au bras à retour d'effort grâce à des pièces d'interfaces. La première est une simple pièce d'aluminium permettant de fixer le corps de Protige au bout du bras. La seconde, plus évoluée (plus légère et intégrant les fonctionnalités du bras haptique (câblages et capteur capacitif)) a été réalisée également sur la plate-forme GI-Nova, mais en technologie Z-Builder.

### *Validation du modèle proposé*

L'outil de modélisation en environnement virtuel CATIA offre la possibilité de paramétrer les précisions des contacts entre deux solides en mouvement. Malheureusement, en connexion avec le module haptique, lorsqu'un trou et une tige ont le même diamètre, CATIA n'offre pas la possibilité de faire pénétrer la tige dans le trou. Ainsi, pour une vérification d'un bon ressenti par le praticien de la manipulation de l'instrument chirurgical dans les têtes de vis fixées sur les vertèbres du patient, nous avons créé des scénarii expérimentaux.



Figures 36. (a) Utilisateur manipulant l'interface commerciale ; (b) interface créée en technologie Z-Printer



Figures 37. (a) Protige fixé avec une pièce en aluminium (b) Protige fixée par l'intermédiaire d'une pièce créée en Z-Builder

Ces scénarii permettent de faire varier :

- le diamètre de la tige elle-même,
- les diamètres des trous des têtes de vis dans lesquelles la tige doit passer,
- le diamètre de l'orifice de pénétration de Protige et sa distance jusqu'au premier canon de passage,
- la distance entre la colonne vertébrale et la surface du dos du patient.

Le tableau 14 résume les résultats obtenus pour des configurations données de positionnement et du diamètre de l'orifice de pénétration de Protige, ainsi que de la position de la colonne vertébrale.

Diamètre (mm)	Trou de vis	6			7			8			9		
Tige	Nombre de trous	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4,5		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Ok	Ok	Ok
5,5		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Ok	Ok	Ok
6		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Niveau difficulté des essais

■ Facile

■ Difficile

■ Très difficile

Tableau 14. Essais de passage de la tige dans les têtes de vis en environnement virtuel

Ce tableau renseigne sur le niveau de difficulté ressenti par le praticien lorsqu'il essaie de faire pénétrer la tige d'un certain diamètre dans les trous d'une, deux ou trois têtes de vis d'un autre diamètre. Le niveau facile (vert) correspond à un temps de passage inférieur à dix secondes de la tige dans les têtes de vis. Le niveau difficile correspond à un temps entre dix secondes et une minute. Le niveau très difficile correspond à un temps supérieur à une minute. En compléments des commentaires des utilisateurs experts, ce tableau nous indique les configurations dimensionnelles qui pourraient correspondre à un ressenti du chirurgien se rapprochant de la situation opératoire réelle.

#### f. Conclusion

Mes recherches de conception d'instruments chirurgicaux en relation avec des PH ont constitué une grande partie de mes activités au début de ma carrière d'enseignant-chercheur aux laboratoires 3S puis G-SCOP. Elles ont également été l'occasion pour moi de co-encadrer mon premier étudiant de doctorat avec qui nous avons pu mener à bien nos investigations auprès des utilisateurs experts. En plus du brevet déposé sur l'instrument Protige, un autre travail nous a permis d'innover autour d'un outil dédié à la réalisation d'une opération mini-invasive pratiquée sur la colonne vertébrale et utilisant la technique de la fluoronavigation [BR 1] Plusieurs notions scientifiques et théoriques ont été revendiquées durant ce travail de terrain. Emulation, scénario étendu, utilisateur expert, et simulation sont notamment les éléments défendus dans cette section..

### 5. CARACTH-AMUSE : Art, Sciences et Handicap

La thématique de recherche abordée ici a démarré pratiquement dès mon arrivée comme enseignant-chercheur à Grenoble INP. Elle occupe encore actuellement une place prépondérante dans mon environnement professionnel et associatif. Son développement nécessite des compétences très variées. Ainsi, de nombreux travaux de scientifiques et techniques ont été réalisés lors de projets pédagogiques avec la participation d'étudiants allant du premier cycle universitaire au post-doctorat dans différents établissements grenoblois.

La caractéristique principale de ce travail de recherche est l'interdisciplinarité. Les métiers du paramédical et de la musique avec la PSH doivent œuvrer en harmonie pour un bon déroulement du processus la conception des produits. Dans cette section, nous poserons la problématique rencontrée liée au contexte et proposerons une analyse des facilitateurs et difficultés rencontrées. Les travaux de conception étant liés aux spécificités des utilisateurs et aux exigences musicales, deux expériences relateront ces difficultés et illustreront quelques-unes de nos orientations scientifiques (sciences du mouvement et neuro-motricité). Enfin, nous présenterons quelques produits conçus et détaillerons une proposition de processus de conception intégrant les caractéristiques des PSH.

Cette thématique de recherche est directement liée aux activités de l'association AE2M déjà décrite plus tôt dans le document. Les d'interfaces développée sur mesure sont reliées à des actionneurs mécaniques et/ou électromécaniques, faisant intervenir parfois des développements informatiques, permettent aux utilisateurs d'agir directement sur les instruments de musique. Notre travail de conception consiste à tout mettre en œuvre pour que la personne handicapée physique puisse agir elle-même volontairement sur l'instrument et prenne du plaisir à jouer en concert lors de représentations.

Les travaux de recherche associés vont dans le sens d'une meilleure prise en compte des caractéristiques des PSH dans le processus de conception du produit. Plusieurs expérimentations et axes de recherche présentés ci-après permettent de contribuer à cette problématique.

#### a. Les spécificités de la conception avec les enfants en situation de handicap (ESH)

Les activités de terrain liées à cette thématique sont variées et nombreuses. Elles sont très enrichissantes pour tous les participants au projet. Lorsqu'une demande émane d'un nouvel utilisateur en situation de handicap, via la famille ou l'enseignant musicien, le déclenchement d'une activité de conception spécifique est décidé avec tous les participants potentiels, mais également avec les accords des institutions participantes. Les acteurs sont inévitablement nombreux et regroupent les compétences nécessaires à une bonne orientation des décisions techniques lors du déroulement du processus de conception.

Des spécificités récurrentes ont été observées et sont maintenant intégrées au mieux lors d'un déroulement d'activité de conception d'interface pour un ESH. Une analyse a été menée sur dix-sept projets de conception impliquant des ESH, des élèves-ingénieurs et des établissements d'éducation spécialisés [AI 5] :

- Soixante-cinq étudiants de différents départements des universités de Grenoble y ont participé (mécanique, hydraulique, électronique, génie industriel), pour des niveaux universitaires allant de bac+2 à bac+5.
- Neuf enfants et adolescents, de sept à dix-sept ans, avec handicaps physiques différents et capacités physiques différentes ont également participé. Tous étaient en fauteuils roulants électriques.
- Quatre institutions spécialisées, toutes situées à Grenoble et agglomération, ont participé à cette étude.

Nous avons décidé de porter un regard critique sur les rapports d'étudiants tout en étant conscient des biais que cela comportait [CN 14] :

- Les rapports ne sont jamais le reflet exact d'une activité de conception d'une durée moyenne de 4 mois.
- Les rapports ne contiennent pas toujours les éléments les plus pertinents que nous attendons en tant que chercheurs.
- Ils sont utilisés par les enseignants comme moyens d'évaluations et des éléments importants de conception sont éventuellement passés sous silence.

Ce ne sont ici qu'un aperçu des biais pouvant être présents dans notre méthodologie, mais nous avons cependant récupéré des données illustrant de manière relativement fiable la réalité de l'activité.

Pour étudier les diverses situations de conception proposées, une grille d'analyse a été élaborée à partir de références bibliographiques et également à partir des lectures directes des rapports de ces étudiants. Onze critères ont été identifiés à partir de la revue de la littérature. La validité de cette liste a été vérifiée à travers une lecture directe des rapports de conception à coder. Tous les rapports ont ensuite été lus et d'autres critères plus spécifiques à notre contexte de travail ont été rajoutés. Les rapports analysés mentionnent certains critères comme facilitateurs, et d'autre comme barrières au bon déroulement du processus de conception.

Pour pouvoir finalement effectuer une analyse exhaustive des dix-sept projets de conception, les critères ont été rédigés de manière à exprimer un sujet et pas nécessairement un problème rencontré. Ainsi, ces critères ont été codés pas uniquement s'ils sont apparus dans les rapports des projets de

conception, mais aussi s'ils ont été perçus comme un problème, un facilitateur ou simplement comme un élément à prendre en compte lors du projet. Le tableau 15 résume les dix-sept critères identifiés (chiffres de 1 à 17) et les classifications des dix-sept rapports de conception y ayant attrait (lettres de A à Q).

Category		Difficulty for the designers	Has to be taken into account by designers, there is no impact or the impact is not known	Facilitator for the designers
1.	Obtaining parents' authorisation	E, G, Q	G	never encountered
2.	Parents' high expectations with respect to the research or design project	never encountered	never encountered	never encountered
3.	Finding/Identifying participants for the project (typically, before the project actually starts)	never encountered	never encountered	never encountered
4.	Some disabled people anticipate the "right" answer (what the designer wants to hear)	never encountered	never encountered	never encountered
5.	User test procedure & user motivation	Q	never encountered	A, D, F, M
6.	User motivation and attention during the whole design process (between meetings but not during user tests)	A, J, P	never encountered	G, N
7.	Quality of communication between the design team and the disabled children	A, E	A	A, E
8.	User test procedure & user self-esteem	never encountered	never encountered	never encountered
9.	User test procedure & user fatigue	never encountered	A	never encountered
10.	Discussion of disability between disabled children and the design team & impact on user comfort	never encountered	never encountered	never encountered
11.	Special school (directors, medical staff, occupational therapist) & impact on the project	C, D, F, G, H, I, L, P	A, B, C, D, E, F, H, K, M, Q	A, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, P, Q
12.	Design team involvement & impact on the project	D, G, P	never encountered	A, G, L, P
13.	Evolving user disease & impact on the product design	J, K	L, P	never encountered
14.	Evolving user wheelchair and corset & impact on the product design	A, B, G	never encountered	never encountered
15.	Evolving product use	M	never encountered	never encountered
16.	Adaptations to different users	A, C, D, E, F, G, K, L, N, O, Q	B, C, E, F, G, J, K, L, N, P, Q	never encountered
17.	Formal definition of user need & impact on the product design	A, D, E, J, N	E	never encountered

Tableau 15. Résultats de l'analyse de contenu des dix-sept rapports répertoriés

Les dix-sept catégories ont été ensuite assemblées en trois groupes qui illustrent les principales préoccupations des ingénieurs lors des projets de conception avec des ESH :

- management des interactions avec les enfants en situation de handicap (catégories 1 à 12)
- difficultés vis-à-vis de l'évolution du handicap (catégories 12 à 16)
- identification des capacités physiques principales des enfants (catégorie 17)



Cette étude montre par exemple que certaines catégories récupérées de la littérature n'ont pas du tout été évoquées lors des projets de conception analysés. Ce sont toutes les questions spécifiques à l'utilisateur qui peut être facilement éludées par des concepteurs s'ils n'y sont pas sensibles. Les résultats mettent en évidence la nécessité d'éduquer ou de sensibiliser les concepteurs à l'égard de ces aspects liés au handicap.

Une conclusion montre également que la collaboration avec les instituts spécialisés est un problème nouvellement identifié. Bien que la participation de ce type d'instituts soit courante dans les projets de conception avec des enfants handicapés, aucune d'étude spécifique n'a été réalisées ni aucune ligne directrice rédigée.

Les résultats montrent également que la compréhension des besoins de l'utilisateur est difficile pour l'équipe de conception. Parce qu'ils peuvent évoluer, des équipes de conception trouvent qu'il est difficile de les identifier concrètement et donc de les formaliser. Sur certains projets, les concepteurs ont réellement du mal à imaginer pouvoir élargir le groupe d'utilisateurs potentiel ou de faire face aux évolutions relatives à un utilisateur spécifique: évolution de la maladie, changement de fauteuil roulant et de corset et évolution de l'utilisation du produit. Pour surmonter ce problème, une équipe de concepteurs a premièrement concentré ses travaux avec un seul utilisateur (dans le cadre d'une étape intermédiaire dans le processus de conception), et plus tard a trouvé des moyens de rendre le produit accessible à d'autres utilisateurs. L'accent a été placé sur la notion de produits ajustables ou réglables après fabrication.

La notion de réglage ou d'adaptation de produits soulève des questions difficiles tant au niveau méthodologique que technique. Quelques produits, conçus en lien avec l'association AE2M, intègrent ces notions d'adaptabilité et de personnalisation. Certains exemples seront montrés dans cette partie. De plus, les questions soulevées sur l'identification des capacités physiques des PSH ont été abordées lors de la thèse de doctorat de Julien Veytizou et nous décrivons une proposition d'outil pour y répondre.

Les premières adaptations de la Kinect de Microsoft dédiée pour la pratique musicale instrumentale nous ont ouvert bien des champs d'applications dans le domaine du médical. Bien plus qu'un outil technologique transitoire dans les applications avec l'association AE2M, il se révèle comme étant une mine de questionnements scientifiques et une ressource prometteuse dans mes nombreuses activités de recherche. Je montrerai dans les sections ci-dessous des exemples d'activités menées dans des contextes différents, mais tous impliquant la Kinect de Microsoft. Mais tout d'abord un petit point sur la technologie Kinect.

#### b. Kinect pour détecter les utilisateurs en fauteuils électriques

Microsoft a développé un nouveau système appelé Kinect permettant à ses utilisateurs de contrôler des jeux sur leur console Xbox360. Ce capteur est composé d'un ensemble de composants représentés sur la figure 38 : une caméra couleur, une caméra infrarouge, un projecteur de rayons laser infrarouges, des microphones, un accéléromètre et un moteur d'élévation.

Le capteur Kinect intègre un algorithme pour déterminer automatiquement et en temps réel les articulations du corps humain. Dans la première version de la Microsoft Kinect (MKv1), il crée un squelette numérique de 20 points correspondants à 20 articulations de l'utilisateur. La figure 39 montre la composition de ce squelette.

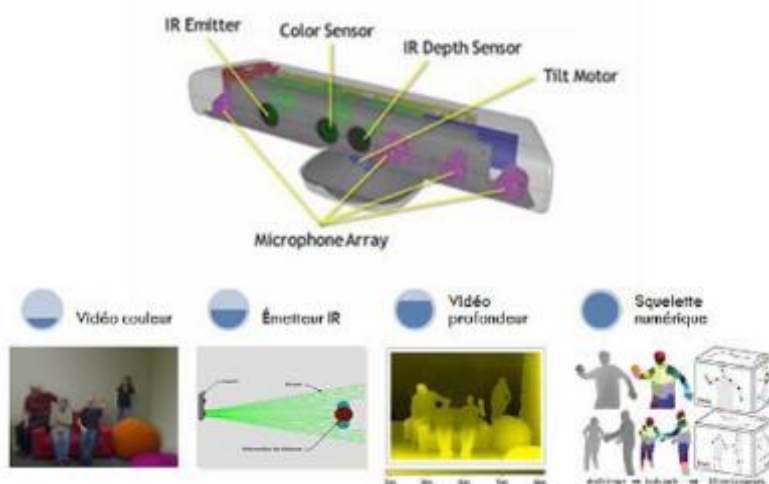


Figure 38. La Kinect de Microsoft. Les composants de la Kinect (en haut). Le fonctionnement du capteur (en bas)

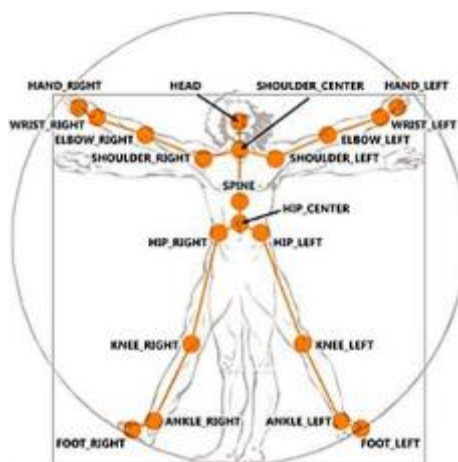


Figure 39. Les points du squelette récupérés par la Kinect de Microsoft

Plusieurs études ont mis en évidence le potentiel de la MKv1 comme un capteur de profondeur à faible coût, portable et comme un système de capture de mouvement non-invasif. Aucune recherche antérieure n'a analysé l'utilisation de ce dispositif dans la situation spécifique d'un utilisateur avec déficience motrice, en fauteuil roulant, alors que la plupart de nos utilisateurs se trouvent dans cette situation. Il nous a donc paru évident de nous lancer dans cette expérience comme prémices de nos recherches proposant l'utilisation de la Kinect pour des PSH en fauteuils. Le but de cette première expérimentation est d'évaluer l'utilisation de la MKv1 pour les fauteuils roulants de taille, de forme et le mode de propulsion différents. Nous avons centré notre étude sur la détection de la PSH dans le champ de vision de la MKv1. Pour nous aider dans cette démarche, nous avons créé le logiciel KinectLAB pour l'acquisition de positions du squelette numérique à partir du champ de vision de la MKv1. Ainsi, cet outil logiciel comporte deux fonctions principales : l'une est le scan et la capture des actions physiques de l'utilisateur et la seconde est la commande et le contrôle de la procédure d'acquisition des données.

Cette expérimentation a été effectuée au C.E.R.A.H. (Centre Etude et Recherche sur Appareillage des Handicapés) à Metz en France. Vingt fauteuils manuels et électriques ont été sélectionnés. Deux de ces derniers ont été utilisés en mode verticalisateur. Voulant connaître l'impact des caractéristiques des fauteuils sur l'utilisation de la MKv1, l'étude a été menée volontairement avec un seul utilisateur.

Trois expériences différentes ont été menées sur chaque fauteuil roulant. Chacune a été effectuée cinq fois, en suivant les instructions suivantes identiques et avec le même utilisateur.

- L'utilisateur dans le fauteuil roulant (position A sur la figure 40) pénètre dans la zone de l'expérience et se déplace dans la zone de positionnement à 2,35 mètres de la MKv1. Le mouvement est idéalement rectiligne.
- L'utilisateur dans le fauteuil roulant (position B sur la figure 40) pénètre dans la zone

d'expérimentation, tourne à l'intérieur des limites pratiques d'utilisation de la Kinect et se place dans la zone de positionnement à 2,35 mètres de la MKv1.

- L'utilisateur est déjà dans la zone de positionnement à 2,35 mètres de la MKv1 (position C dans la figure 40).

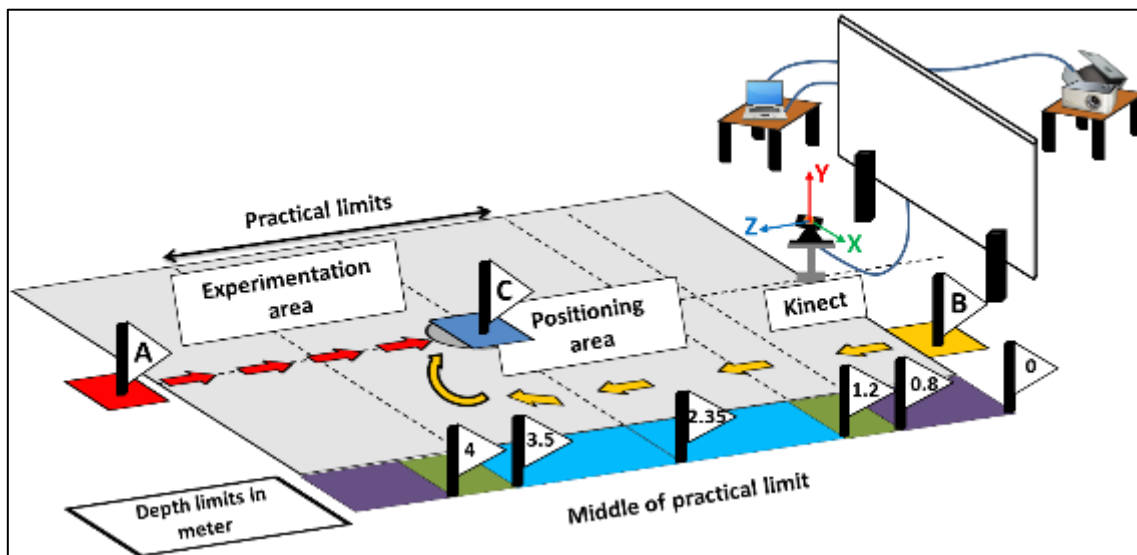
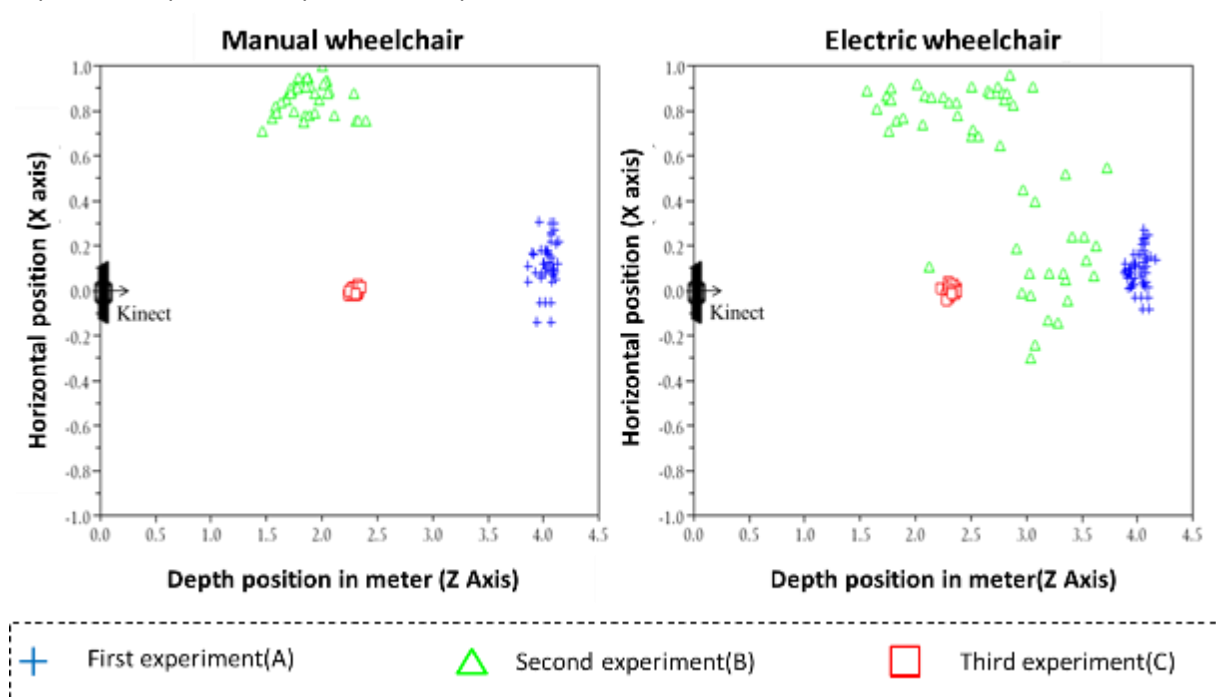


Figure 40. Organisation de protocole expérimental avec les limites de profondeur, les différentes positions de départ des sièges pour chaque expérience et les dispositifs de configuration

Ces trois conditions expérimentales différentes ont été choisies pour représenter la variété des situations rencontrées dans les centres ou établissements accueillant des PSH. Les figures 41 montrent les mesures de détection de position de l'utilisateur pour les fauteuils roulants manuels (FRM) et électriques (FRE). Les données indiquent la position de l'utilisateur (profondeur le long de l'axe Z) en fonction de sa position latérale (axe des X sans unité) pour chaque fauteuil roulant et pour les trois expériences: position A, position B et position C.



Figures 41. Résultats de la position de détection de l'utilisateur en fonction du fauteuil roulant manuel (à gauche) et électrique (droite).



Pour la première expérience et pour tous les fauteuils roulants, l'utilisateur a été détecté au début de la limite de profondeur physique. La profondeur de la position de détection se situait entre 3,86 mètres et 4,17 mètres avec une moyenne de 4,03 mètres pour les FRM et 4,01 mètres pour les FRE. Les recommandations fournies par Microsoft peuvent être adaptées au contexte d'un utilisateur dans un fauteuil roulant en utilisant l'outil KinectLAB.

La deuxième expérience valide la différence entre la détection de l'utilisateur dans un FRM et dans un FRE. Les analyses complémentaires [ASI 2] montrent que le volume du FRM n'affecte pas la détection de l'utilisateur dans une profondeur allant de 1,46 mètre à 2,4 mètres. En revanche, le volume des FRE affecte la détection de l'utilisateur dans une profondeur allant de 1,55 mètre à 3,73 mètres (figure 42). Un autre résultat montre que, pour cette seconde expérience, l'utilisateur en FRM est détecté à la fin du champ de vision de la MKv1. Alors que dans le FRE, il n'est détecté à la fin du champ de vision de la MKv1 que pour des volumes inférieurs à 0,8 mètre cube (figure 43). Pour la troisième expérience, la détection a toujours lieu dans une profondeur entre 2,23 mètres et 2,38 mètres, quels que soient les fauteuils.

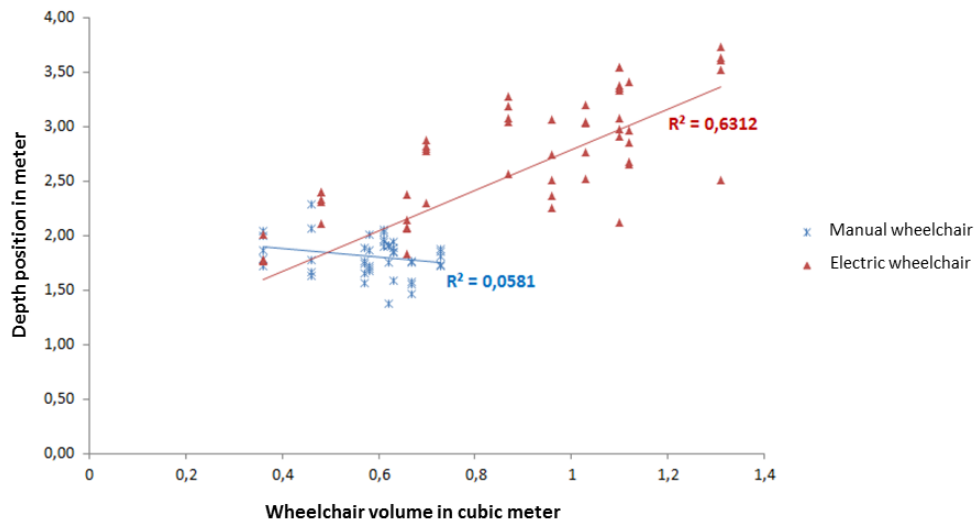


Figure 42. Profondeur de détection en fonction des volumes des FRM et FRE (seconde expérience)

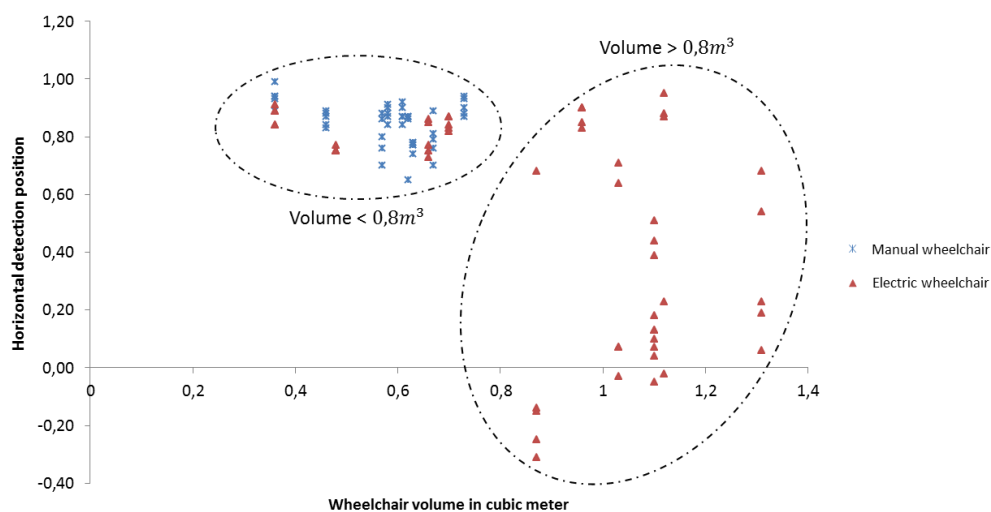


Figure 43. Position horizontale de détection en fonction des volumes des FRM et FRE (seconde expérience)

Finalement, lorsque la MKv1 est combinée avec le système KinectLAB, un squelette numérique est identifié même dans des conditions très spécifiques et restrictives d'utilisation telles que des personnes en fauteuils roulants. Cette expérimentation qui contient des analyses plus poussées dans le mémoire de thèse de Julien Veytizou, a donné lieu à deux contributions principales :

- Utilisée dans l'environnement KinectLAB, la MKv1 a prouvé qu'elle était capable de détecter les membres supérieurs des utilisateurs de fauteuil roulant dans les mêmes conditions que les personnes valides.
- Les dispersions de mesure de longueur segmentaire sont faibles et stables pour une posture de l'utilisateur avec les bras tendus. Cela signifie que le KinectLAB peut être utilisé pour collecter des données sur les aptitudes physiques des utilisateurs à mobilité réduite.

### c. Analyse du mouvement comme aide à la conception

Dans le cadre de ces projets de conception, beaucoup d'enfants et d'adolescents en situation de handicap ont été rencontrés et intégrés dans nos activités scientifiques. C'est le cas de Marine, dix-sept ans, avec qui nous avons tenté de vérifier si les utilisations de technologies d'analyses du mouvement et des analyses statistiques pourraient aider les concepteurs à faire des choix sur des paramètres de conception d'une interface tactile pour jouer d'un instrument de musique [AI 8].

Habituellement, les principaux moyens techniques d'observations utilisés par les concepteurs sont l'observation directe et les enregistrements vidéo. Nous pensons que l'enregistrement vidéo est une technique limitée qui ne permet pas d'observer des gestes de façon satisfaisante dans un contexte de conception d'aide technique telle que des «special input devices». En effet, de nombreux paramètres ne sont pas accessibles tels que le temps de réaction et le temps de mouvement. Or nous considérons ces paramètres comme pertinents pour la conception puisqu'ils reflètent la complexité du mouvement et donnent des éléments sur les capacités motrices des utilisateurs. La science du mouvement est un domaine scientifique qui s'intéresse aux mouvements des êtres humains en prenant en compte les aspects psychologiques, neurophysiologiques et mécaniques. Cette science inclut à la fois des travaux empiriques et des recherches sur la modélisation du mouvement.

Nous avons décidé d'expérimenter ces éléments scientifiques complémentaires pour apporter des informations supplémentaires permettant de choisir pour Marine un contacteur optimal, adapté à ses capacités physiques. Etant donné que la vitesse et l'instant de frappe sont des impératifs essentiels dans le domaine de la musique, il n'est pas satisfaisant d'évaluer uniquement de façon qualitative ses performances. En fonction des caractéristiques motrices des utilisateurs, il est nécessaire d'évaluer de façon précise où doit se situer le contacteur pour que ses performances soient les meilleures. Nous avons donc décidé de comparer les performances de l'utilisateur pour différentes positions de contacteur : (1) droite, (2) extrême droite, (3) devant, et (4) gauche. Pour cela, nous avons utilisé un système de capture de mouvement 3D pour enregistrer la position de la main : le ZEBRIS CMS10 (Zebris Medical, Germany) qui est un système basé sur la triangulation ultrasonore (figure 44).

Il a été demandé à Marine de pointer le contacteur avec sa main dominante le plus rapidement et précisément possible à partir de l'émission d'un signal. Quatre-vingt essais ont été effectués au total durant deux sessions de quinze minutes (à chaque fois 10 pointages sur chaque position). Le bouton poussoir se trouvant à 20 cm de la position de repos de sa main.

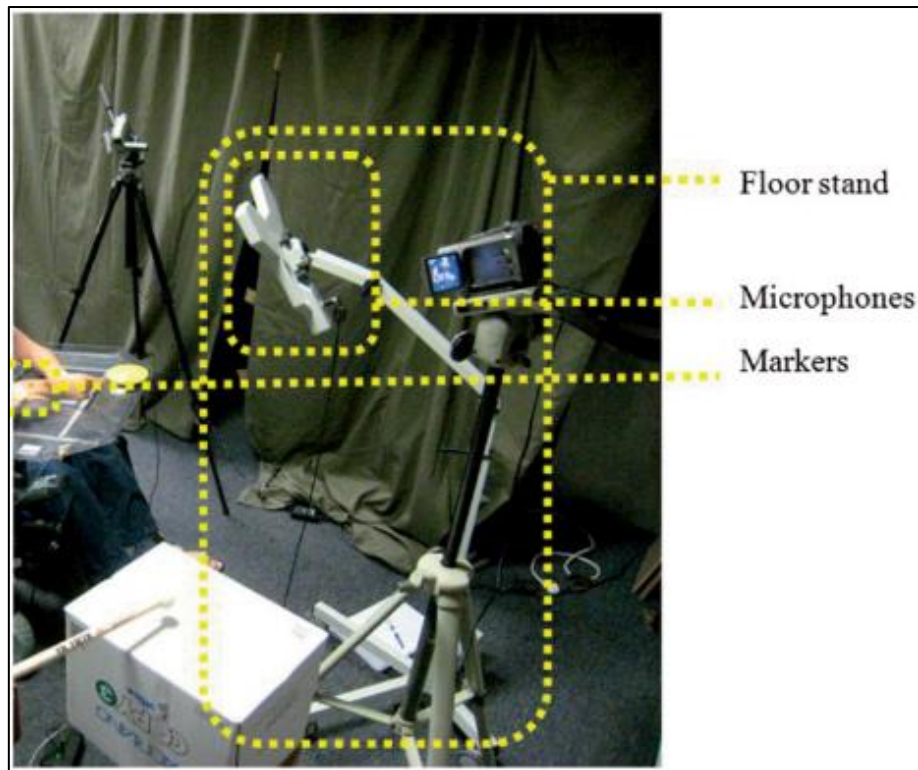


Figure 44. Configuration de la salle d'expérimentation avec le système ZEBRIS CMS10

La figure 45 montre une courbe récupérée à partir d'une tâche de pointage. Nous y remarquons les deux zones *temps de réaction* et de *temps de mouvements* ainsi que les trois moments *audition du signal sonore*, *début du déplacement* et *fin de déplacement* de la main.

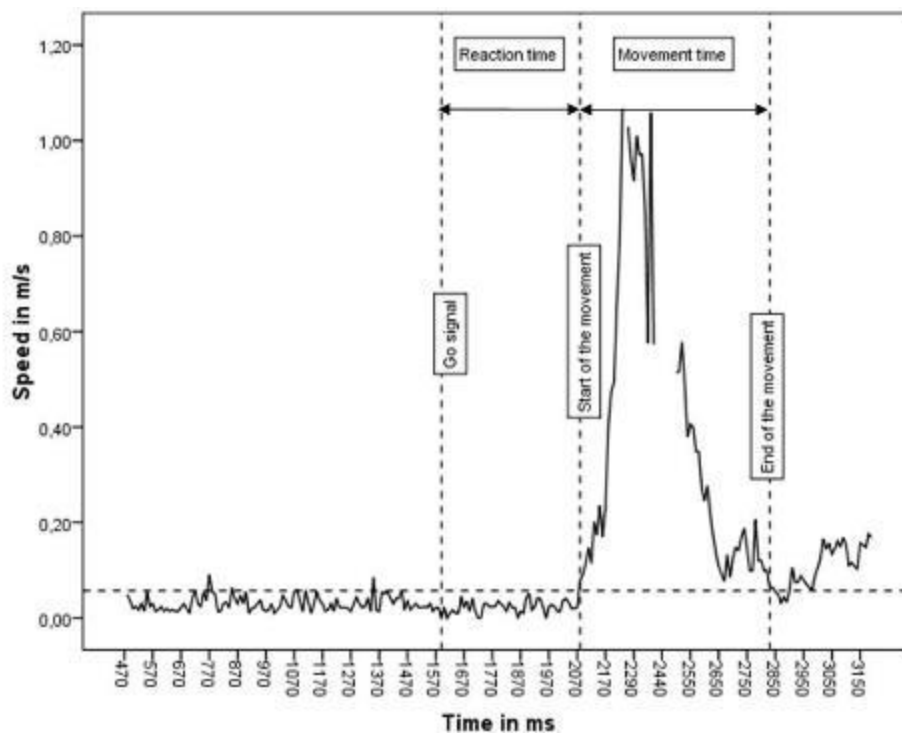


Figure 45. Evolution de la vitesse de la main de l'utilisateur en fonction du temps

Des analyses statistiques de variance ANOVA ont été effectuées sur le temps de réaction, le temps de mouvement et la variabilité spatiale de la position d'arrivée.

Pour le temps de réaction, d'un point de vue du concepteur, les résultats auraient tendance à indiquer une position de bouton plutôt qu'une autre. Le tableau 16 indique un temps de réaction plus faible pour la position «extreme right», ainsi que pour la déviation standard et pour l'erreur standard. La figure 46 apporte des éléments complémentaires intéressants : la médiane de la position « front » est plus basse que pour la position «extreme right », ce qui n'est pas le cas pour la moyenne du temps de réaction moyen.

En ce qui concerne le temps de mouvement, les mêmes analyses que précédemment concordent et orienteraient vers la position «extreme right » du contacteur. Par contre, l'analyse ANOVA révèle qu'aucune conclusion ne peut être prise car la valeur de « p » indique que la position du bouton n'a pas d'effet évident sur le temps de mouvement.

	No. of trials	Mean reaction time (ms)	Std. deviation (ms)	Std. error (ms)	Minimum (ms)	Maximum (ms)
Left	15	275.3	118.9	30.7	90	440
Front	16	179.4	92.2	23.0	20	350
Right	12	187.5	114.9	33.1	40	450
Extreme right	11	164.5	60.2	18.1	90	260
Total	54	204.8	107.6	14.6	20	450

Tableau 16. Temps de réaction des différentes positions

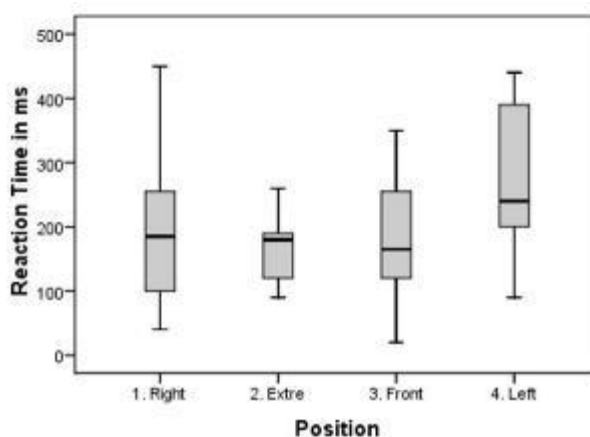


Figure 46. Temps de réaction pour chaque position de bouton

Enfin pour la variabilité de la position d'arrivée, la valeur de p de l'analyse statistique ANOVA révèle que la position du bouton a un effet majeur sur ce paramètre. Les résultats des concepteurs et ceux des analyses statistiques concordent ici et mettent en évidence à nouveau la position «extreme right » du contacteur.

Des améliorations du matériel expérimental et de la méthodologie sont envisageables [AI 8]. Par contre, les expériences montrent que dans le cas de la conception avec des PSH, leurs caractéristiques physiques et cognitives très diversifiées doivent faire réfléchir aux possibilités d'utiliser des outils scientifiques complémentaires pouvant affiner ou aller jusqu'à remettre en cause les perceptions des concepteurs.

#### d. Analyse de la neuro-motricité avec enfants IMC

L'expérimentation est menée ici avec des enfants infirmes moteurs cérébraux (IMC) pour qui il est souvent très difficile d'effectuer des tâches d'anticipation-coïncidence nécessitant précision temporelle et / ou spatiale pour atteindre une cible au bon endroit et au bon moment [AI 9]. Pour mieux comprendre le phénomène, nous avons étudié la capacité de ces enfants à effectuer des tâches

anticipation-coïncidence, en dissociant le développement cognitif des aspects moteurs de la tâche. Ce travail a été effectué avec des chercheurs de l'équipe Santé, Plasticité, Motricité (SPM) du laboratoire TIMC-IMAG à Grenoble. Onze enfants IMC âgés de 6 à 14 ans, cinquante et un enfants en bonne santé âgés de 6 à 13 ans et treize adultes en bonne santé ont effectué, aussi précisément que possible, une tâche de -synchronisation coïncidence en réponse à un son spécifique d'une séquence musicale.

Cette tâche a été réalisée dans deux conditions différentes: dans la condition verbale (condition 1), les participants fournissent leur propre estimation temporelle à travers une réponse verbale simple (un « top »). Cette première phase a permis d'estimer dans quelle mesure les enfants IMC peuvent anticiper cognitivement l'apparition du son de tambour avec des contraintes motrices minimales. Dans la condition de sollicitation motrice (condition 2), l'estimation temporelle a été réalisée grâce à une réponse motrice plus complexe dans laquelle les participants devaient atteindre une cible avec leur bras, à une vitesse qui leur est propre. Cette condition a permis d'estimer dans quelle mesure les enfants IMC peuvent prendre en compte leurs déficits sensori-moteur et en conséquence, adapter leur comportement pour anticiper la frappe sur le tambour et donc le son généré.

Trois séquences musicales ont été élaborées par le musicien référent de l'association AE2M, sur la base de son expérience quotidienne de l'enseignement de la musique avec les enfants IMC. Ces trois séquences musicales étaient composées de sept notes jouées à un rythme régulier avec un vibraphone et terminaient par une huitième note qui était le son d'un tambour. Ces séquences musicales ont été jouées à trois tempo différents: lent (1.10 Hz ou 65 battements par minute (bpm)); intermédiaire (1,40 Hz ou 85 bpm); et rapide (1,75 Hz ou 105 bpm), respectivement, *lento*, *andante* et *allegretto* dans le système de référence italien.

Dans la première condition, un micro-cravate était connecté directement à l'ordinateur pour récupérer la voix de l'enfant de manière efficace. Dans la seconde condition, les enfants étaient positionnés face à une plaque carrée métallique de 2mm d'épaisseur et de 40cm de côté, sur laquelle étaient placées deux cibles en forme de fleur (3cm de diamètre), distantes de 25cm l'une de l'autre. De manière complémentaire, une cosse métallique était placée sur l'index de l'enfant pour faire contact avec une cible ou une autre. La position des cibles impose un mouvement d'abduction du bras de la gauche vers la droite (figure 47). La première cible sert à détecter le début du mouvement et la seconde, la fin. La procédure expérimentale est présentée en détails dans [AI 9].

Une analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée dans les conditions expérimentales présentes : 3 groupes \* 2 conditions \* 3 séquences musicales. Les résultats principaux de cette étude montrent des erreurs d'estimation temporelles quasi similaires pour les enfants sains et les adultes pour les deux conditions, alors que pour les enfants IMC, les erreurs dans la seconde condition sont beaucoup plus importantes. Il est intéressant aussi d'apprendre que pour les enfants sains et les adultes, les erreurs d'estimation temporelles sont similaires quelle que soit la séquence musicale, alors que pour les enfants IMC, ces erreurs sont plus importantes pour le tempo lent que pour l'intermédiaire et la rapide.

La figure 48 montre également que l'estimation de la variabilité temporelle est plus importante pour les enfants IMC que pour les enfants sains et les adultes. De plus, les enfants IMC ont une plus grande variabilité pour un tempo faible que pour les deux autres groupes (qui eux ont une variabilité identique quelle que soit la séquence musicale). En ce qui concerne le temps de mouvement et la variabilité de temps de mouvement, ils sont plus importants pour les enfants IMC que pour les deux

autres groupes. De plus, les enfants IMC auraient un temps de mouvement plus long pour le tempo faible, puis pour l'intermédiaire et enfin pour le rapide.

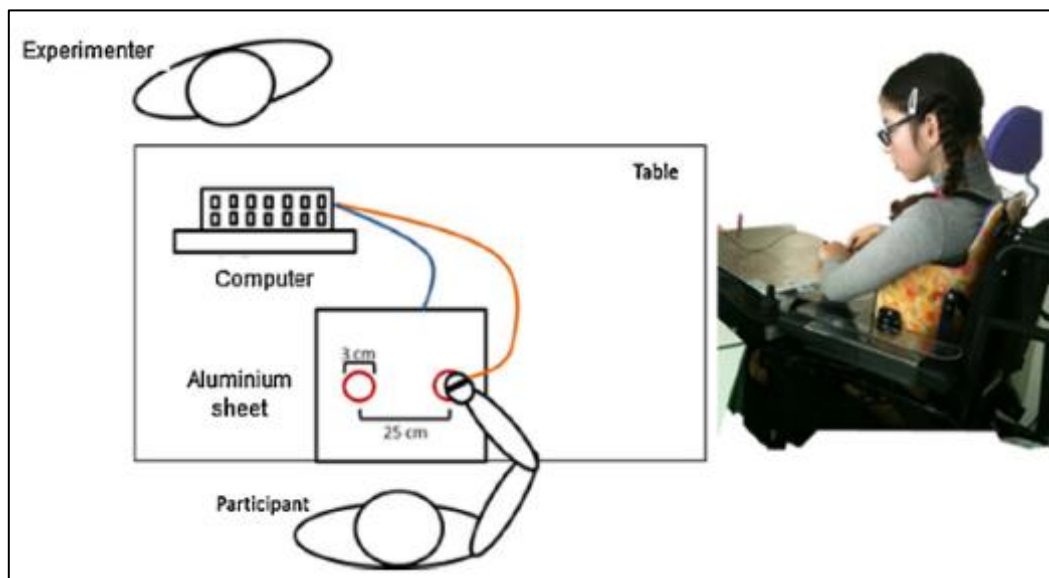


Figure 47. Situation expérimentale pour l'expérience d'anticipation coïncidence (condition 2)

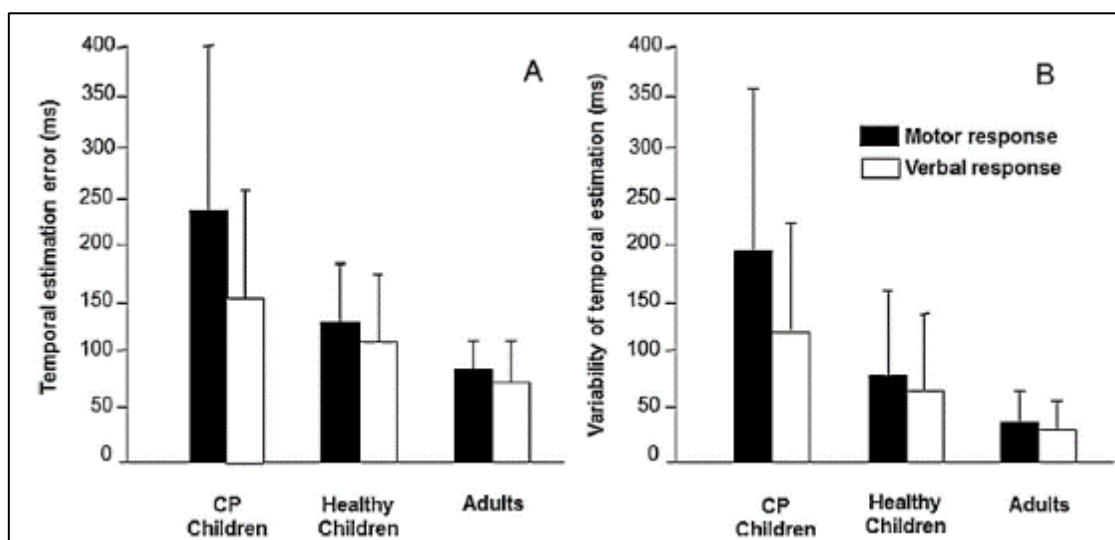


Figure 48. Erreur moyenne (A) et variabilité (B) de l'estimation temporelle et de la déviation standard en ms, pour les trois groupes et dans les deux conditions de réponse d'anticipation coïncidence.

En conclusion, même si les expériences ont été menées auprès de trois groupes de population pour permettre de les comparer à des populations témoins, les résultats ont montré que les enfants IMC étaient en mesure d'adapter leur mouvement à des contraintes temporelles. Cela suggère que l'utilisation de tâches motrices adéquates avec les contraintes spécifiques au cours du processus de réhabilitation peut les aider à améliorer leur capacité sensorimotrice pour interagir avec leur environnement.

#### e. Pour une meilleure intégration des spécificités motrices des PSH

Une première étape pour aller vers notre proposition de processus est la représentation du triptyque Individu, Produit et Participation (IPP). La Figure 49 montre ces trois éléments dans une représentation intégrant les éléments constitutifs de la situation de handicap autour de cet axe

IPP. Il met en avant l'interaction entre l'individu et le produit par l'exécution de tâches. Ces dernières sont réalisées dans un environnement et un contexte propre à chaque individu.

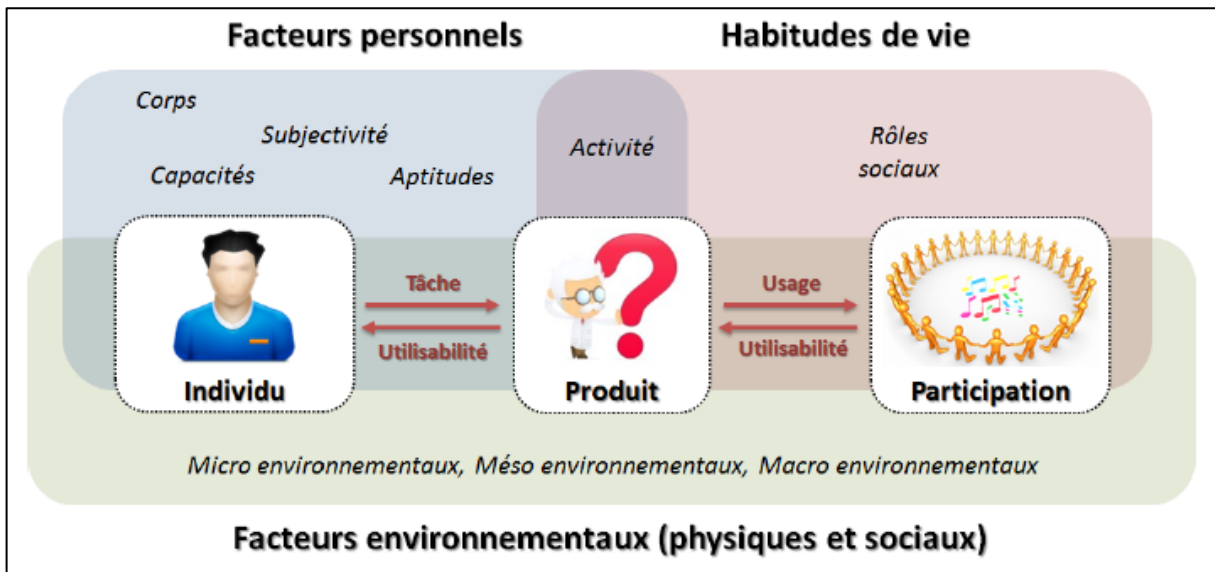


Figure 49. Le modèle IPP : Individu – Produit – Participation

Autour de cet axe IPP, nous intégrons la structure des éléments constitutifs de la situation de handicap :

- les facteurs personnels sur l'axe secondaire Individu – Produit,
- les habitudes de vie sur l'axe secondaire Produit – Participation,
- et les facteurs environnementaux englobant l'ensemble.

Le modèle IPP positionne le produit comme la résultante d'une bonne intégration de l'ensemble des éléments constitutifs de la situation de handicap dans les projets de conception. L'ignorance ou l'incompréhension d'un des éléments peut engendrer une utilisabilité du produit difficile pour l'utilisateur ou encore une mauvaise intégration du produit dans son contexte d'usage. Vue l'importance de ces éléments pour la conception des aides techniques, ce modèle sera utilisé comme état initial du processus proposé.

Dans le contexte de la conception de systèmes pour les PSH, la proposition de processus tente de mieux prendre en compte usagers et usages par la mise en place de phases de caractérisation. Le processus de conception CARACTH proposé, est inspiré de la méthodologie UCD à laquelle sont insérées l'étape de caractérisation des spécificités motrices des utilisateurs et l'étape de définition d'une architecture produit modulaire (figure 50). Ces évolutions permettent notamment de simplifier les phases d'itérations à l'intérieur du processus de conception pour permettre une personnalisation efficace et rapide du produit.



L'analyse du modèle IPP peut révéler des besoins, des problèmes et des contraintes que le projet de conception devra prendre en compte. Il sert ainsi de support pour assurer le succès des étapes du processus de conception CARACTH (figure 51). La caractérisation des spécificités motrices débute après avoir défini les exigences liées à l'utilisateur. Cette étape permet de définir les aptitudes de l'utilisateur pour le concepteur, dans l'objectif de fournir des solutions de conception mieux ajustées aux capacités de l'utilisateur. Dans cette étape, des activités d'analyses et de modélisation des aptitudes motrices sont proposées dans le but de fournir des informations utiles pour la suite du processus. La norme ISO 9241-210 propose d'effectuer des itérations de conception sur l'ensemble des étapes de l'UCD [ISO, 2010].

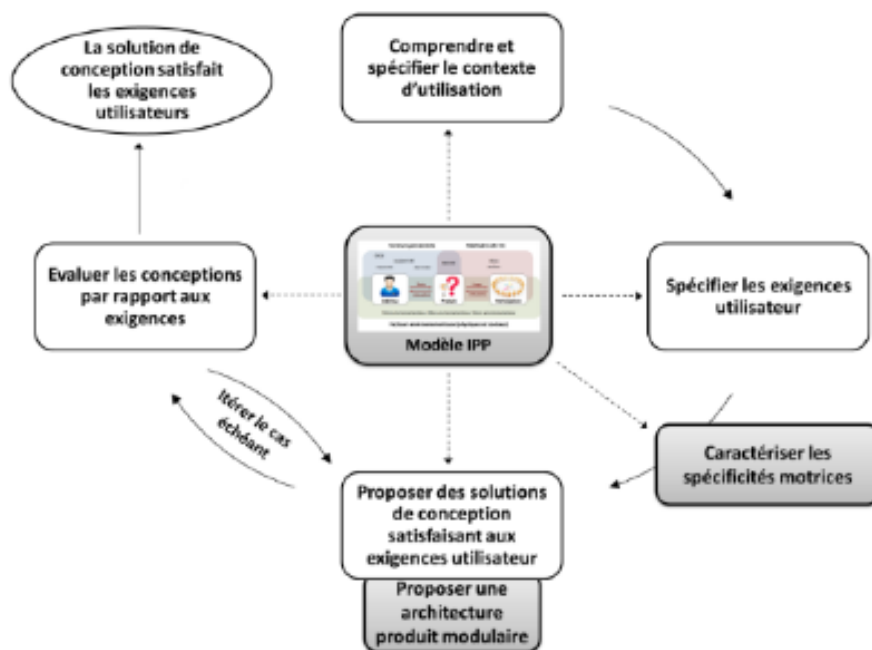


Figure 50. Positionnement de la caractérisation des spécificités motrices et du modèle IPP à l'intérieur du cycle CCU

En fonction de la complexité d'une re-conception des systèmes après l'évaluation par les utilisateurs, ces phases d'itération peuvent demander des moyens financiers et du temps non compatibles avec le projet de conception. Nous proposons d'effectuer ces itérations seulement entre deux étapes du processus : «proposer des solutions de conception» et «évaluer les solutions de conception». L'intégration du modèle IPP, de la caractérisation des spécificités motrices et d'une architecture produit modulaire à l'intérieur du cycle UCD devrait permettre ainsi de simplifier les phases d'itérations sur le processus de conception CARACTH.

La proposition de processus de conception CARACTH se décline donc en cinq étapes principales. Elles fournissent une approche pour les concepteurs, facilitant l'enchaînement de la caractérisation des spécificités motrices vers la conception de systèmes personnalisables. Après une compréhension du contexte d'utilisation du produit et des spécifications des exigences, la caractérisation des spécificités motrices des usagers est exécutée, générant un modèle utilisateur de leurs possibilités gestuelles. Ce modèle couplé à une architecture produit modulaire permet ainsi d'ajouter de l'adaptabilité au système à concevoir.



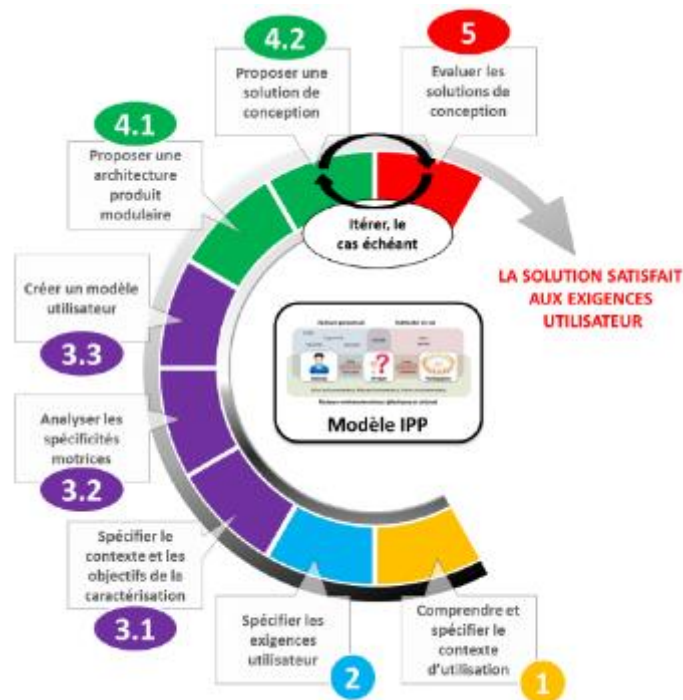


Figure 51. Processus de conception CARACTH

Certaines de ces étapes sont décomposées en sous-étapes. Ainsi, l'étape de caractérisation des spécificités motrices est divisée en trois sous étapes (voir 3.1 à 3.3 sur la figure 51). L'étape de proposition de solution de conception est divisée en deux sous-étapes (voir 4.1 et 4.2 sur la figure 51). Des précisions importantes sur toutes les étapes de ce processus sont disponibles dans [CN 16] [CN 18] [CN 19], ainsi que dans le mémoire de thèse de Julien Veytizou.

#### f. Produire des solutions pour la pratique musicale

A partir des multiples expériences précédentes et depuis le début du projet AE2M avec le CRR de Grenoble, les nombreux projets de conception ont permis de réaliser quelques prototypes de produits utilisés par des enfants, adolescents ou adultes en situation de handicap. Plusieurs musiciens les manipulent maintenant aisément de manière hebdomadaire. Grâce aux activités musicales au CRR, les PSH ou les musiciens professionnels font des retours ponctuels pour faire part d'améliorations ou de modifications émanant de l'évolution de l'expertise artistique, de la pathologie, ou de besoins d'autres musiciens handicapés. Des produits plus ou moins complexes, provenant tous de besoins initiaux de PSH sont présentés ci-après.

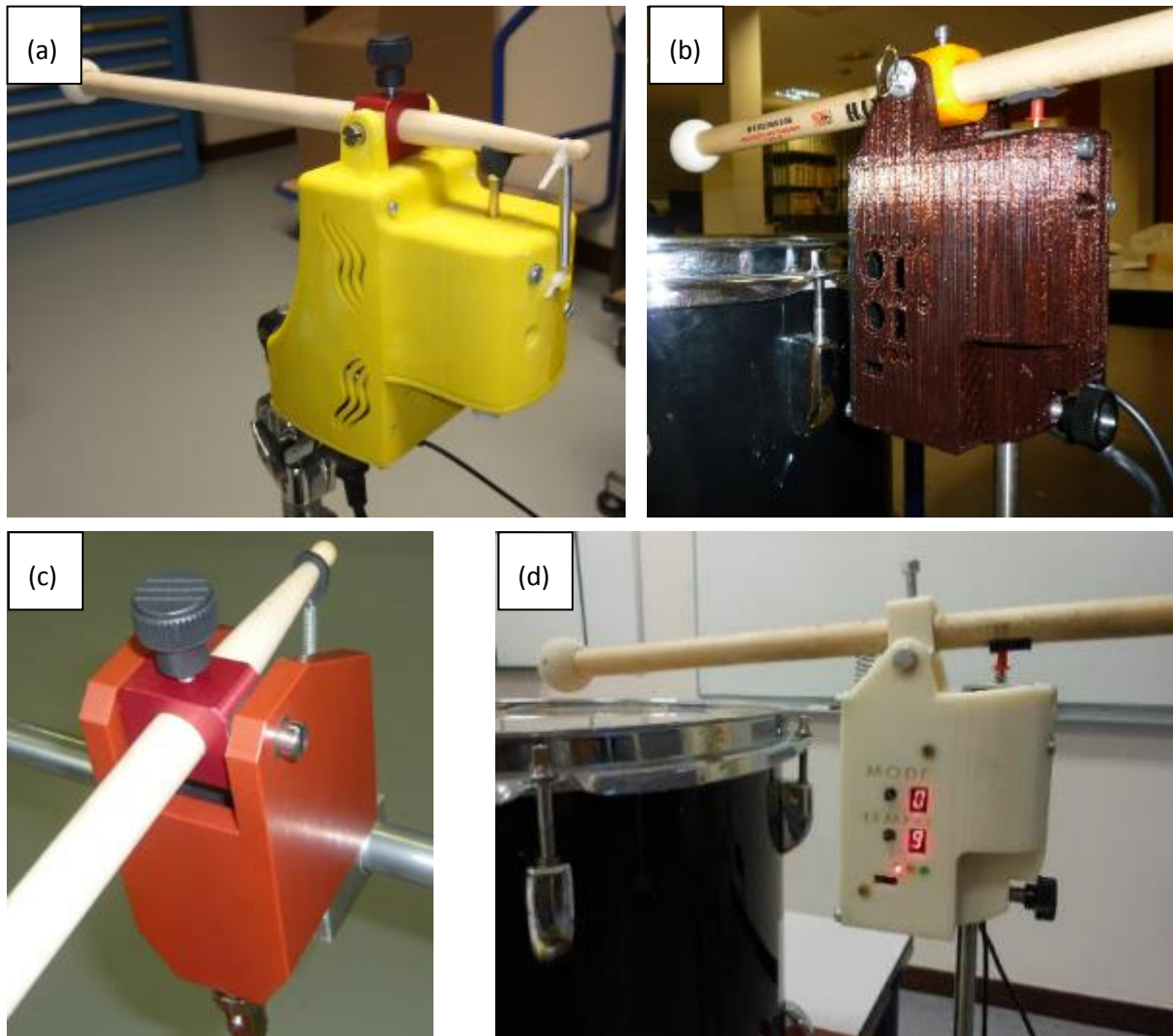
##### *La Mailloche Electro Mécanique (MEM2)*

Ce produit est le produit vedette de l'association AE2M ; il est régulièrement remis en cause suite à des retours d'utilisation des musiciens et des PSH. Il s'agit d'un système permettant de jouer d'un instrument de percussion individuellement, en utilisant un actionneur personnel dont il maîtrise déjà l'utilisation. Dans la dernière version de la MEM2, il est possible de configurer son utilisation suivant les besoins des utilisateurs : 10 tempo (battements de la noire de 60 à 200 pulsations par seconde) et 16 modes :

- Action de la frappe identique à celle de la sollicitation de l'interface utilisateur
- Action de la frappe uniquement lorsque l'utilisateur relâche son interface

- Action de la frappe en mode rebond même lors d'un appui prolongé sur l'interface
- Mode roulement de tambour
- Ou action de l'une des 12 cellules rythmiques préenregistrées dans la MEM2

La phase de conception et de fabrication de ce produit a permis de tester différentes ressources technologiques disponibles pour nos recherches et de mettre en évidence des avantages et inconvénients de certaines impressions 3D pour le prototypage [CI 39] [ASI 1]. Ainsi, une fois les choix de conception validés, nous avons utilisé les phases de validations expérimentales pour vérifier les pertinences de l'utilisation de ces technologies d'impression 3D. Pour notre produit spécifique, nous nous sommes ainsi focalisés sur les coûts de production, temps de fabrication ou encore résistance mécanique notamment aux vibrations engendrées par la frappe de la mailloche sur le tambourin. Les boîtiers (et parfois la pièce de liaison à la mailloche) ont ainsi été fabriqués en Z-Printer (figure 52 a), FDM (Fused Deposition Modelling) type REP-RAP (figure 52 b), machine-outil à commande numérique (figure 52 c) et en FDM pour la version finale actuelle (figure 52 d).



Figures 52. Exemple de quatre technologies de prototypages rapides mobilisés pour le projet MEM2

Ils Intègrent tous l'électronique (alimentation et microcontrôleur), les afficheurs sept segments pour indiquer les choix du tempo et du mode, les connectiques pour l'alimentation et les contacteurs de la PSH. Effectivement, deux contacteurs supplémentaires peuvent être utilisés pour permettre à la PSH de modifier elle-même durant le jeu, les choix de tempo et de mode.

#### *Tambour Sauterelle*

L'accès à l'instrument est primordial pour un jeu de qualité et une position confortable dans le temps. C'est ainsi que nous avons réfléchi à la conception et réalisation de trois nouveaux pieds de tambourin permettant de l'incliner et de procurer un espace libre à proximité de l'instrument pour le musicien en fauteuil. Ainsi, il a accès à son instrument en toute décontraction (figures 53).

Le nom de ce système très simple vient de l'observation d'une sauterelle lorsqu'on le regarde. Le tambour sauterelle vient d'une réflexion que nous avons eue sur l'accès au tambourin pour les musiciens assis en fauteuils roulants électriques. Le résultat peut paraître simple, mais des problématiques de dimensionnements des pieds pour une bonne inclinaison de l'instrument face au musicien nous ont notamment questionnées.



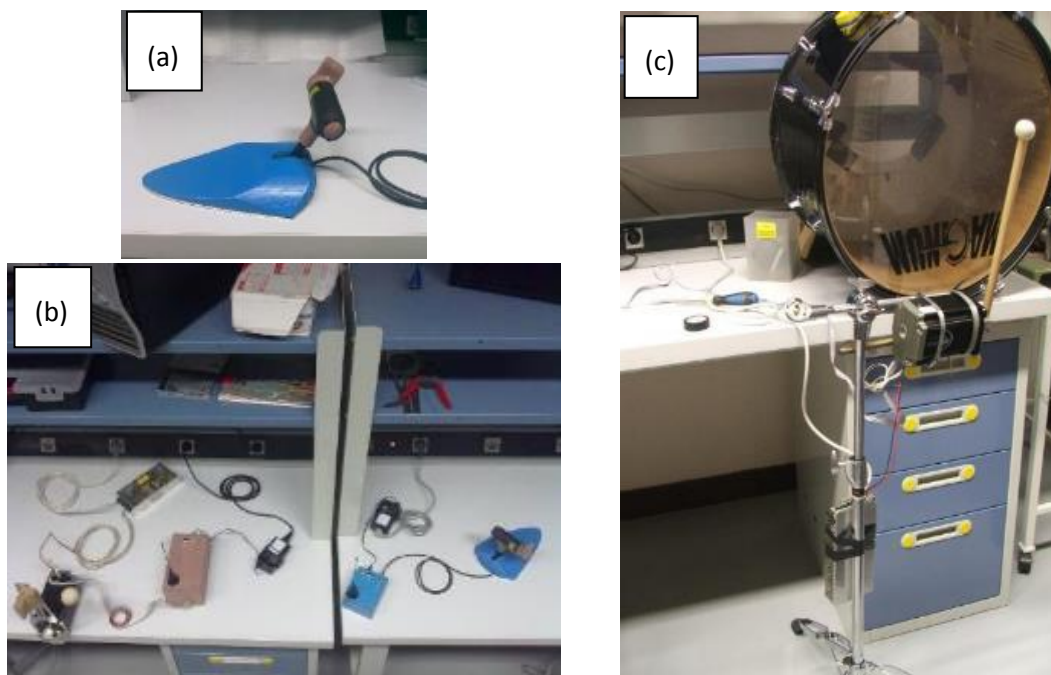
Figures 53. Tambour Sauterelle de l'association AE2M : en exposition et en utilisation

#### *Joystick sans fil (JSF)*

L'objectif de ce produit est de permettre à des musiciens en situation de handicap de jouer d'un gros instrument de percussion à l'aide d'un joystick spécialement conçu pour être adaptable au musicien en situation de handicap. Il peut jouer deux volumes sonores différents en actionnant le joystick vers l'avant ou vers l'arrière. Trois éléments de personnalisation de l'interface sont possibles :

- L'amplitude de mouvement est réglable (les butées avant et arrière sont ajustables).
- L'effort que le musicien doit fournir pour actionner le joystick est réglable (réglage de la raideur du ressort circulaire au niveau de la liaison pivot du pommeau).
- Le pommeau du joystick est créé sur mesure grâce aux imprimantes 3D disponibles sur la plateforme technologiques Gi-Nova (figure 54 a).

Une des exigences du musicien était de réaliser ce système sans fil pour permettre à l'utilisateur de manipuler le joystick actionnant le moteur pas-à-pas à distance (jusqu'à 50m). La figure 54 (b) montre du système JSF complet. La figure 54 (c) montre un banc d'essai permettant d'effectuer les essais de couples à fournir au moteur pas-à-pas pour les frappes *piano* et *forte* sur le tambour.



Figures 54. (a) Le joystick avec pommeau personnalisé, (b) le système LSF complet et (c) le banc d'essai avec une mailloche sur un tambour

Le travail interdisciplinaire lors de ce projet a été primordial. Nous pouvons l'illustrer de deux manières très concrètes :

- Le choix du joystick comme IHM a été proposé par l'équipe d'ergothérapeutes. Effectivement, travaillant sur ce prototype avec de jeunes adolescents utilisant des FRM, l'idée était de leur proposer un joystick pour appréhender au mieux le passage vers le FRE. En pratiquant la musique avec cette interface, ils pourraient se familiariser à sa manipulation en vue de commander, plus tard, le FRE.
- Pour dimensionner au mieux les frappes *forte* et *piano* sur le tambour, des essais ont été effectués avec une enseignante percussionniste professionnelle du CRR. Une mailloche a été instrumentée avec un accéléromètre et un sonomètre a été utilisé. Des analyses sous Matlab ont été effectués pour caractériser au mieux ces deux sonorités en vue de les reproduire en utilisant un moteur pas-à-pas.
- Malgré nos essais et nos différents prototypes, deux problèmes persistent encore actuellement sur le JSF :
  - La phase de conversion A/N et N/A liée à la transmission sans fil est très consommatrice de temps de calcul ce qui ralentit la transmission du signal de manière trop importante et rend finalement le système inutilisable. Le décalage actuel de plus de 150ms est trop important pour avoir l'impression d'entendre le son au moment de l'actionnement du joystick.
  - Le choix du moteur pas-à-pas peut être remis en cause notamment à cause du surcoût actuel qu'il procure au système complet. Peut-être qu'un électro-aimant pourrait largement suffire.

#### *Le Portique Plateau Orthèse (PPO)*

Ce système est uniquement mécanique et il permet de venir positionner tout instrument de percussions (type métallophone) devant une PSH debout, en fauteuil roulant ou même en



verticalisateur. Ce système a été imaginé pour des PSH ayant des pathologies de dégénérescence musculaire de type myopathie. Le PPO est conçu et dimensionné pour permettre un positionnement en hauteur et en inclinaison de l'instrument. Il sert également à supporter et positionner les avant-bras de l'utilisateur exactement au bon endroit par rapport à l'instrument. Les orthèses des membres supérieurs ont été conçues et fabriquées en différentes tailles pour épouser au mieux l'avant-bras et pour un confort maximal.

La figure 55 (a) montre le PPO composé de deux trépieds réglables en hauteur, d'une barre transversale et du plateau fixé horizontalement. Deux barres supports et une barre horizontale principale supportent les orthèses. La figure 55 (b) montre le PPO en cours d'utilisation dont le plateau a été enlevé pour y placer un vibraphone. La première version du portique date de 2006. Cette version était tout à fait pertinente du point de vue de son utilisation musicale. Mais nos réflexions méthodologiques autour de ce produit ont fait comprendre la nécessité de détailler le contexte d'utilisation par scénarii d'usages. Pour permettre à la PSH de jouer de son instrument, d'autres personnes ont à manipuler le PPO en amont. Le musicien mettait notamment plus de 7 minutes, avec l'aide d'une seconde personne pour monter le PPO version1. Cette dernière version du PPO peut être montée en moins de 2 minutes par une personne seule. De plus son poids, son encombrement une fois démonté (figure 55 c) et son coût ont été fortement réduits. Enfin, le procédé de fabrication et la gamme de montage ont largement été simplifiés et fiabilisés pour une fabrication rapide sur demande.



*Figures 55. (a) Le PPO, (b) PPO en utilisation sans le plateau, (c) PPO plié prêt à être rangé*

#### *La Pince Piézo Musicale (PPM)*

La PPM est un système constitué d'une pince intégrant un capteur piézo-électrique et pouvant se clipper sur tout support se situant à proximité de la PSH, transformant ainsi ce support en une interface personnalisée. L'utilisateur peut ainsi aisément jouer l'un des systèmes développés par l'association AE2M, comme la MEM2 par exemple, ou même une série de MiniMEM formant ainsi une batterie de mailloches pouvant frapper sur des lames de métalophone (figure 56 a). La figure 56 (b) montre cette

PPM fixée sur la roue d'un fauteuil manuel permettant à l'utilisateur de jouer du métallophone en tapotant simplement sur sa roue.



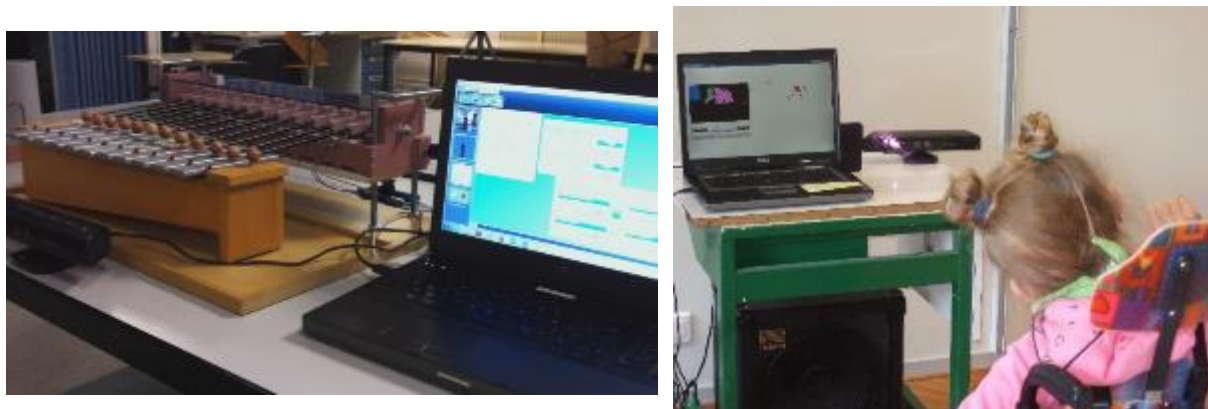
Figures 56. (a) PPM reliée aux mailloches d'un métallophone (b) PPM fixée sur la roue d'un fauteuil manuel

La création du système captant la vibration générée par l'utilisateur, via un capteur piézo-électrique a été testée en laboratoire [CI 34]. Des études pour simplifier la fabrication et augmenter la robustesse ont permis de trouver des éléments commerciaux réduisant considérablement les délais de fabrication et les coûts du système MiniMEM. Ce dispositif électromécanique permettant de jouer des mailloches sur des instruments de percussion est développé en laboratoire en utilisant des cartes ARDUINO. Des modifications y sont régulièrement apportées : la dernière nouveauté étant de pouvoir commander les 12 mailloches à partir d'un clavier numérique en communication MIDI.

#### *La Kinect Musicale (KIM)*

Les rencontres et discussions avec les musiciens professionnels, les ergothérapeutes et kinésithérapeutes ont fait évoluer les réflexions vers des interfaces toujours plus originales et adaptées aux caractéristiques d'autres PSH. Ces dernières ayant toujours des difficultés de préhension des instruments de musiques, il a été proposé d'utiliser des interfaces sans contact. Chercheur et ingénieur ont alors pris la décision de proposer l'outil Kinect de Microsoft comme interface permettant l'accès aux instruments.

Ainsi, la MKv1 est configurée pour pouvoir proposer une interface virtuelle sur mesure aux PSH désirant jouer d'un instrument, notamment les mailloches de métallophone (figure 57 a), mais aussi toutes musiques ou animations numériques programmées pour diverses occasions.



Figures 57. (a) Kinect installée avec le système mailloches de métallophone, (b) enfant en fauteuil utilisant la Kinect avec sa tête

Les outils développés utilisant la MKv1 comme IHM permettent de définir très rapidement avec l'utilisateur, son interface personnalisée pour un jeu sur mesure et confortable. Plusieurs configurations de détection de l'utilisateur sont possibles et personnalisables : la position, la vitesse ou l'accélération d'un membre du corps ou d'une articulation (figure 57 b).

#### g. Conclusion

Cette thématique de recherche me permet des rencontres passionnantes avec des professionnels kinésithérapeutes, ergothérapeutes, chercheurs d'autres laboratoires, musiciens professionnels de diverses spécialités, mais aussi avec des PSH plus motivées les unes que les autres. De multiples projets dans de nombreux départements universitaires ont été encadrés avec des collègues enseignants de disciplines variées. De la création de l'association AE2M (de laquelle je suis vice-président) jusqu'à la gestion complète des ressources (humaines, sociales, scientifiques, financières et techniques), ces expériences m'ont réellement fait prendre conscience des complexités de gestion de projet de recherches interdisciplinaires et inter-départements.

Mon regard sur le handicap, ma compréhension des conditions familiales, sociales et sociétales constituent une richesse et un bagage personnel qui contribuent également à l'orientation de mes activités professionnelles. Je considère que ces expériences techniques et scientifiques multidisciplinaires ont formé en grande partie ma culture scientifique actuelle et mon regard sur la manière dont je mène et pense mener mes activités.

## IV. Mes perspectives de recherche

Mes recherches sont orientées autour des méthodologies et outils de conception de produits dans le domaine du médical et du handicap. Les propositions théoriques se basent systématiquement sur des expérimentations et activités de conceptions de terrain. Nous nous positionnons systématiquement dans des situations réelles dans lesquelles les utilisateurs en situation de handicap ou les professionnels de santé expriment des besoins. Mes expériences et mes expertises me permettent d'orienter mes futurs travaux en trois axes principaux :

- Le développement de solutions technologiques à destination de PSH et l'enrichissement des méthodes de conception associées, liées ou non aux activités musicales.
- La conception de systèmes dédiés aux pratiques médicales, en apportant un regard théorique et une expertise sur l'évolution des besoins de ces professionnels.

J'oriente mes futures contributions sur les outils et méthodes de conception dédiées ou non à ces deux catégories d'utilisateurs. Les solutions technologiques progressant vers des systèmes efficaces répondant aux exigences des utilisateurs finaux, il semble important d'intégrer les étapes d'industrialisation et de conception modulaire dans les modèles de développement des systèmes.

- Faire fructifier les relations de recherche à l'international pour construire des partenariats plus solides et reconnus sur ces thématiques de recherche multidisciplinaires dans le domaine du médical.

C'est vers ces trois axes que je désire orienter mes activités d'enseignement et de recherche. Ils sont décrits plus précisément dans les sections suivantes.

### 1. Centré sur l'utilisateur en situation de handicap

Des activités sont d'ores et déjà en place avec plusieurs professeurs dans diverses spécialités au CRR de Grenoble.

#### a. Projets musicaux en cours de développement

##### *Maintien pour accordéonistes professionnels*

Il peut être très parlant de commencer à évoquer ce projet de conception par un comparatif entre un sportif de haut niveau et un musicien professionnel :

- Un athlète de haut niveau est considéré comme une personne pratiquant un entraînement physique quotidien, intensif, permettant la réalisation et l'enchaînement rapide de mouvements parfaitement synchronisés dans la pratique d'un sport de compétition.
- Un musicien professionnel est considéré comme une personne pratiquant un entraînement physique quotidien, intensif, permettant la réalisation et l'enchaînement rapide de mouvements parfaitement synchronisés dans la pratique d'un instrument (20 à 30 notes par seconde).

Du point de vue de l'échauffement :

- Un sportif de haut niveau ne commence jamais à courir, sauter, jouer ou lancer quelque chose sans une préparation physique d'un minimum de 30 minutes,



- Nous n'avons jamais vu un accordéoniste (ou un autre musicien) prendre 3 minutes pour se préparer musculairement avant de pratiquer son instrument.

Il existe des centaines de livres expliquant les bienfaits de la préparation physique pour les sportifs de haut niveau, même pour les animaux (chevaux pour équitation par exemple), alors qu'il n'en existe qu'un seul pour l'entraînement physique du musicien. Le tableau 17 ci-dessous donne un aperçu des différences marquantes entre ses deux pratiques professionnelles.

Sportif de haut niveau	Musicien professionnel
Carrière courte	Carrière longue
Objectifs mesurables (plus vite, plus haut, plus fort, plus loin)	Virtuosité + Interprétation
Coach, conseiller technique, psychologue, masseur, nutritionniste, physiothérapeute	Préparation individuelle
Préparation physique intense	Pas de préparation physique
Suivi médical: pathologies connues	Pas de suivi médical: pathologies spécifiques inconnues des médecins
Blessures < mouvements brusques du corps entier, contacts physiques	Blessures < répétition inlassable de petits mouvements des membres supérieurs

Tableau 17. Quelques différences fondamentales entre sportif de haut niveau et musicien professionnel

Des études approfondies montrent que les affectations professionnelles des musiciens sont principalement :

- Les affections musculo-tendineuses et articulaires
- Les compressions nerveuses
- Les dystonies de fonction

Une étude sur 198 accordéonistes montre notamment que 27% d'entre eux souffrent des épaules (principalement la gauche), 27% souffrent du bas du dos et 22% souffrent de la nuque. Pour le moment, les principaux traitements sont (1) une amélioration de la posture, (2) le port d'une attelle, (3) l'injection de cortisone ou de Botox et (4) la chirurgie.

Les musiciens professionnels (58 ans tous les deux) et le médecin des arts qui nous ont contactés souhaitent mettre au point de nouvelles bretelles. Effectivement, les bretelles commerciales ne sont pas suffisamment réglables et adaptables au musicien et à son type de jeu. Elles ne répondent pas du tout aux attentes des utilisateurs pour qui il s'agira de proposer de nouveaux supports à l'instrument non seulement pour prévenir des douleurs, mais aussi pour maintenir une aisance de jeu propre aux musiciens.

Le travail sera donc fortement en relation avec les musiciens professionnels dans le sens ils ont des exigences implicites qu'il s'agira de traduire en fonctionnalités de produit et en solutions technologiques. Nous aurons à réaliser de nombreuses réunions avec professionnels, médecins, ingénieurs et chercheurs, à appliquer le principe de recherche action, à mettre en place des scénarii d'usage durant lesquels des prototypes évolutifs seront manipulés. Cette démarche complète, la

première en présence de médecins des arts, permettra d'enrichir nos réflexions et notre processus de conception de matériel d'aide à la pratique musicale.

#### *Support pour hautbois*

Ce projet sur lequel nous allons nous pencher très prochainement concerne la problématique du maintien d'un hautbois en position de jeu pour un adolescent de 14 ans, en situation de handicap souffrant d'une maladie orpheline qui provoque une dégénérescence des muscles et des tendons. Cela a comme conséquence une moins grande agilité (amplitude et forces) des membres supérieurs, surtout des mains et de pouces.

Actuellement, le professeur du CRR et la PSH trouvent des moyens de compensation comme l'utilisation d'un trépied de guitare et le hautbois posé sur les genoux. Mais cela provoque quelques défauts de positionnements empêche une respiration correcte, critère prépondérant pour un jeu de qualité. La PSH a un excellent niveau de jeu et les relations ont déjà été prises avec les ergothérapeutes du CHU Michallon de Grenoble pour bénéficier de connaissances médicales nécessaires pour travailler sur ce sujet. Pour le musicien handicapé, les besoins identifiés sont de :

- Soulager les deux pouces (utilisés à la fois pour supporter le poids de l'instrument et pour jouer) pour une meilleure qualité de jeu et moins de fatigue.
- «Libérer» les doigts du haut pour une pratique musicale plus fluide.

Le désir de proposer des éléments de compensation pas «trop» visibles constitue la principale contrainte imposée par la PSH.

Comme pour le précédent projet de recherche, les apports des musiciens professionnels, des professionnels du médical et la présence de l'utilisateur sont les atouts pour travailler au mieux sur l'amélioration du processus de conception du système.

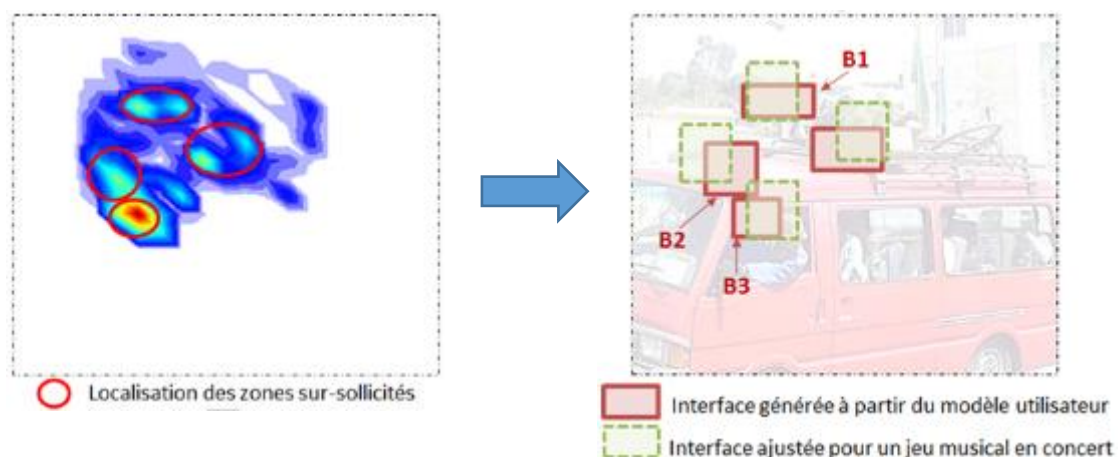
#### *Interface Kinect personnalisable*

L'outil Kinect de Microsoft ayant déjà fait ses preuves auprès de quelques PSH dans nos projets musique et handicap, nous aimerions proposer un système automatique d'interface personnalisée pour ces musiciens. Connaissant les caractéristiques des données spéciales fournies par la Kinect, il nous est demandé par les musiciens professionnels travaillant au quotidien avec les PSH de pouvoir proposer de manière quasi instantanée, des interfaces correspondant aux capacités physiques des musiciens en situation de handicap.

Pour la participation à un spectacle en juin 2014 (projet RV-Lapalud), un premier «modèle utilisateur» a été généré par une méthode de densitogramme. Cette méthode permet de visualiser les déplacements du corps humain sur une interface utilisateur en deux dimensions (horizontale et verticale). La méthode pour la génération du modèle utilisateur intermédiaire est la suivante :

- Diviser le plan d'interface sous forme d'une grille bidimensionnelle. Chaque cellule de la grille est appelée «section».
- Comptabiliser le nombre de passages d'une partie du corps dans chaque section.
- Assigner une couleur pour chaque section en fonction du nombre de passages enregistré dans cette section. La figure 58 (a) représente le modèle utilisateur généré pour ce projet.

Au regard du modèle utilisateur généré, il est possible de définir les zones sur-sollicitées des mouvements de l'utilisateur avec la main gauche. Après discussion avec l'utilisateur, les musiciens et les compositeurs, quatre zones ont été localisées (figure 58 a). Ces zones représentent l'emplacement des futurs boutons virtuels de l'interface personnalisable. Quatre sons différents pourront ainsi être joués. Les séances pour l'évaluation de la solution de conception ont été organisées avec l'utilisateur en situation de handicap et l'ensemble des acteurs qui auront recours au système musical lors des activités du concert. L'objectif de l'évaluation est de trouver le meilleur compromis entre les capacités motrices de l'utilisateur et les attentes sonores, mais aussi par exemple de définir l'emplacement du système sur scène. Deux séances d'apprentissages ont été nécessaires avec l'utilisateur pour qu'il s'entraîne à manipuler son interface sur les morceaux composés. L'évaluation centrée sur l'utilisateur a montré que l'interface générée à partir de son modèle lui a permis d'exécuter la tâche facilement et surtout sans effort. Par contre, elle n'était pas optimisée pour le jeu musical proposé pour le concert. Certains boutons virtuels n'étaient notamment pas assez espacés. L'utilisateur allait du bouton B1 à B3 en activant involontairement le bouton B2 (voir figure 58 b). Une nouvelle interface a ainsi été réajustée pour solutionner ce fonctionnement non-souhaité



Figures 58. (a) Le modèle utilisateur avec les zones sur-sollicitées, (b) interface utilisateur générée et ajustée après évaluation

Cette première version d'interface utilisateur est un exemple basé sur l'exploitation de la position d'un des membres supérieur de l'utilisateur. D'autres techniques pourraient être utilisées pour proposer de manière plus automatique des interfaces basées sur des vitesses, des accélérations, des angles, des mouvements ou enchainements de mouvement plus complexes dédiés aux caractéristiques physiques des musiciens en situation de handicap.

#### b. Orthèse de bras pour le réapprentissage de la préhension

Ce projet fait suite à un travail initial proposé à des étudiants de Grenoble INP – école de Génie Industriel, dans la filière Ingénierie de Produit, qui a montré toutes ses promesses. Il s'agit de développer un système d'aide à la rééducation de la préhension pour une enfant hémiplégique. L'ampleur des travaux est importante et notre engagement dans ce projet est sur du long terme.

L'utilisateur identifié ici est une petite fille sportive qui pratique le tennis et pour lequel elle a beaucoup d'intérêt. C'est principalement le ramassage de la balle lui pose des problèmes. En effet, sa main droite ne possède pas vraiment de capacité de préhension. Elle n'a que très peu de forces dans ses doigts et ne peut pas saisir et maintenir la balle dans sa main. Elle a également des difficultés à se

baissier pour ramasser la balle du fait de sa jambe droite qui est aussi atteinte par l'hémiplégie. Cependant, Emmanuelle a retrouvé une bonne motricité au niveau de cette jambe et bien qu'elle éprouve certaines difficultés à se baisser, elle y arrive.

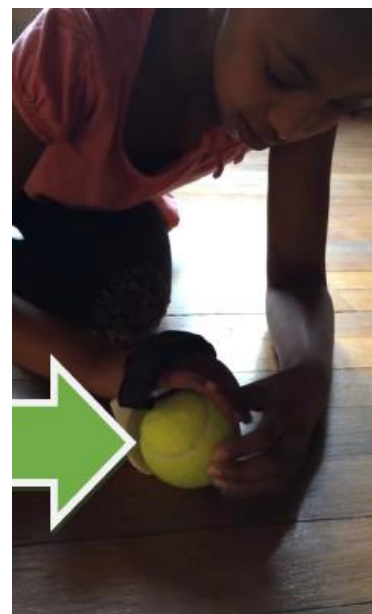
Ainsi un premier objectif de l'étude était de concevoir et fabriquer un dispositif lui permettant d'attraper et de maintenir la balle de tennis de la main droite. Lors de ce travail les étudiants se sont rendus compte de la multitude de spécialistes du médical et du paramédical que rencontre régulièrement Emmanuelle : médecin, orthoptiste, neurologue, pédiatre, kinésithérapeute, etc. Sans rentrer plus dans les détails, il a été observé que chacun de ces spécialistes a ses propres objectifs de rééducation ou de réapprentissage avec le patient. Les trois mois d'étude ont permis de proposer un premier système réalisé en imprimante 3D (figure 59) devant permettre à la PSH de ramasser la balle avec sa main droite (figure 60).

Les moyens technologiques dont nous disposons, ainsi que les méthodes et outils de conception doivent nous permettre d'aller beaucoup plus loin dans notre proposition système d'aide à la préhension. Mais nos capacités et nos méthodes d'analyse doivent surtout nous permettre de pouvoir proposer un dispositif répondant aux exigences de chacun des spécialistes, de l'utilisateur et de la famille.



Figure 59. (ci-dessus). Prototype réalisé en imprimante 3D

Figure 60. (ci-contre). Emmanuelle utilisant le prototype pour ramasser la balle de tennis



Les spécialistes du domaine médical notent une très importante diversité des patients qui nécessitent un apprentissage, voire un réapprentissage de la fonction de préhension de la ou des mains. Cette diversité est non seulement due à des patients d'âges différents, mais également de pathologies très diverses et à des états d'avancement différents. La problématique initiale à laquelle sont confrontés les professionnels de santé est la suivante : chaque cas individuel est traité à part et des techniques de rééducation sont appliquées auprès de chaque patient avec l'aide de kinésithérapeutes. Une fois la séance de rééducation terminée, le patient rentre chez lui et n'utilise plus son ou ses membres handicapés.

A partir de ce constat, les réflexions avec les professionnels de santé nous amènent à réfléchir à une instrumentation ou une installation permettant au patient de continuer à réaliser des exercices de rééducation en autonomie et sans danger, mais également de manière volontaire.

L'idée vers laquelle nous nous dirigeons est la conception et la fabrication sur mesure d'une orthèse de main personnalisée. Beaucoup de travaux de recherche scientifiques traitent de réalisations et d'expérimentations de mains articulées, mais la complexité de ses systèmes les rend financièrement inaccessibles et également très compliqués à comprendre et à manipuler par l'utilisateur en situation de handicap «temporaire».

D'un autre côté, un autre champ d'application qui nous intéresse plus particulièrement est l'impression 3D et le prototypage rapide. Différentes technologies existent dorénavant et ces procédés se démocratisent à très grande vitesse. C'est principalement sur l'utilisation de ces technologies à bas coût et très accessibles pour tous que nous allons nous concentrer pour proposer le développement d'orthèses personnalisées pour la rééducation.

Dans ce projet, les professionnels de santé ont la volonté de pouvoir proposer une orthèse sur mesure et son utilisation adaptée en rééducation à chaque patient. Le point commun de ce projet avec le projet DESTIN est la co-conception du produit et de son usage, mais cette fois-ci pour la PSH. Pour accompagner la réalisation de ces systèmes complexes, nous allons donc travailler également à une proposition de méthode de conception qui intègre à la fois :

- les caractéristiques pathologiques et le profil des utilisateurs,
- les besoins des professionnels de santé,
- les connaissances des concepteurs sur les technologies de prototypage rapide.

Une contrainte supplémentaire est une diffusion à grande échelle et à bas coût de ces produits adaptés. Le travail mené a donc également des enjeux socio-économiques à prendre en compte, par exemple en termes de délai de production, de performances, de coût et de stratégie et réseau de diffusion.

Ce type de projet ambitieux doit nous donner les opportunités de nous concentrer encore plus davantage sur les contextes sociaux et environnementaux des patients et des professionnels de santé. Que les produits soient destinés à ces professionnels ou à des PSH, les activités de recherche-action nous mettent en première ligne pour faire progresser les méthodes de conception multidisciplinaire et proposer des outils d'analyse et de diagnostic appropriés.

### *c. Amélioration des processus de conception associés*

#### *Points communs des projets*

Un de nos objectifs de recherche est de comprendre les contraintes organisationnelles et de mettre en évidence des points communs entre ces projets. Notre motivation est de proposer des outils et méthodes de conception pour ces projets dans lesquels les utilisateurs en situation de handicap sont demandeurs d'améliorations pour une activité quotidienne (artistique, de rééducation, etc.).

Les années de collaborations avec le CRR de Grenoble et avec les professionnels du CHU Michallon nous offrent des opportunités de travailler en parallèle sur plusieurs projets de conception de systèmes avec les PSH. Ils nous donnent les moyens de mettre en place des outils d'observations adaptés et des méthodologies de recherche sur mesure. Les conséquences des analyses de ces observations de conception collaboratives devront nous permettre de déboucher sur des propositions théoriques plus efficaces et ciblées en fonction du contexte. Effectivement, les projets pédagogiques, stages, projet de fin d'étude ou de Master Recherche et de thèses seront supports à des réflexions pour progresser vers

des propositions de processus de conception. La variété des utilisateurs concernés et de leurs profils ainsi que les différents contextes de terrain nous permettent d'être optimistes quant aux perspectives de nos réflexions.

### *Pistes de réflexions*

La proposition du triangle de compétences est une première étape qui doit nous permettre de progresser dans nos réflexions. Les projets sont fortement multidisciplinaires et impliquent en permanence des compétences médicales et artistiques tout au long du processus de conception. Mais comment des interactions fonctionnent-elles exactement ? Quel est le rôle de chaque acteur dans le projet et quel est son poids vis-à-vis des autres interlocuteurs ?

Tout en pilotant des projets précis de conception et de développement d'interfaces personnalisées, nous nous attacherons à observer, analyser puis instrumenter les activités d'interaction entre les métiers de l'ingénierie et du paramédical avec les futurs utilisateurs pour les intégrer au mieux dans le processus de conception. Il s'agira également de mobiliser les moyens technologiques de retro-conception et de prototypage rapide (plate-forme GI-Nova) en vue de proposer d'éventuels artefacts spécifiques permettant d'assister et d'accompagner les phases importantes de confrontation de ces milieux professionnels très différents (ingénierie et paramédical).

- La construction d'expertises pour l'accompagnement des confrontations des métiers du paramédical et de l'ingénierie : proposer et expérimenter des outils, méthodes et/ou instrumentations pour motiver et stimuler ces phases d'innovation entre acteurs du processus de développement du produit,
- L'intégration en conception : la méthodologie d'intégration des expertises métiers et d'outils facilitateur en conception collaborative devra permettre d'une part l'amélioration des produits en cours de conception, mais devra également contribuer à une meilleure définition des usages, pour de futures innovations.

### *Industrialisation*

Une autre de nos préoccupations actuelles est la réflexion autour du développement et de la diffusion des solutions de conception apportées. La MEM2 (figure 52.d) est un exemple de produit proposé par l'association AE2M pour répondre à des besoins précis de musicien en situation de handicap. Elle est considérée comme mature et prête à être proposée à plusieurs clients. Le contexte de développement actuel du produit fait que nous ne sommes pas capables de les proposer même en moyenne série. Effectivement, plusieurs prototypes ayant prouvé leurs excellentes performances sur le terrain n'ont pas pu être valorisés et diffusés non seulement par manque de moyens humain et financier, mais aussi à cause d'une mauvaise anticipation et organisation du projet de conception. Le fil rouge de l'association AE2M est de permettre à un maximum de PSH de pratiquer la musique instrumentale notamment à travers la manipulation de ces différents systèmes. Nous pensons notre méthodologie de recherche appliquée bien en place, mais nous devons travailler à améliorer notre méthode et démarche de valorisation des produits. Cette analyse est valable aussi dans le contexte du développement de l'orthèse de membre supérieur. Les résultats attendus sur cet axe de l'industrialisation sont de deux natures :

- une proposition de processus clair permettant de passer d'un prototype expérimental validé sur le terrain avec différents utilisateurs, à des possibilités de mise à disposition au plus grand nombre et à moindre coût,

- une méthode permettant de répondre efficacement et rapidement à des sollicitations toujours plus nombreuses de la part de particuliers ou d'institutions partout en France et maintenant à l'étranger.

Pour ces activités d'industrialisation, des collègues à Grenoble INP – Ecole de Génie Industriel sont capables de nous apporter des compétences nécessaires pour répondre à ses problématiques.

#### *Vers un modèle de conception modulaire*

Cette proposition constitue une suite logique de nos propositions et constats. Les situations personnelles des PSH sont toutes différentes, leurs capacités et spécificités leurs sont propres. Les produits se doivent dans ce cas d'être personnalisés au maximum pour favoriser une utilisation efficace et motivée. Un même processus de conception se doit donc de pouvoir fournir ces résultats aux utilisateurs finaux. Les étapes 3 et 4 du processus de conception CARACTH (figure 51) illustrent clairement cette motivation de caractérisation des capacités de la PSH avant de concevoir un produit qui lui est dédié.

La progression proposée ici est d'intégrer ces propositions en réfléchissant en termes de performance de systèmes de production. Nous essayons de combiner des principes du Lean Product Development (ou LPD) avec les spécificités des produits dédiés aux PSH. Un des principes du LPD qui nous concerne plus directement est une standardisation rigoureuse pour réduire la variation et créer de la flexibilité par rapport à la demande spécifique. Ce principe est primordial pour nous car il permet de donner un premier aperçu des contraintes liées à l'industrialisation de produits personnalisés. C'est pour cela que nous nous sommes intéressés aux principes de la conception modulaire.

La modularisation est une stratégie d'architecture de produit qui améliore le développement de famille de produits et l'offre de personnalisation. Voici quelques variables de la modularité: (1) la stabilité de la fonction allouée à un composants, (2) la façon dont la configuration finale du produit est construite et (3) la nature des interfaces entre les composants.

De ces variables découle le concept de modularité combinatoire, qui est une généralisation de la permutation de composants via des lots d'interfaces. En fait, l'échange de composants et la modularité combinatoires sont deux extrêmes d'une gamme de situations où l'incidence augmente progressivement de familles de composants vers les composants communs. Dans le niveau combinatoire, la structure de l'ensemble du produit est variable. C'est vers cette stratégie de modularité combinatoire que notre modèle devra se diriger.

Les propositions sont clairement basées sur la méthodologie de conception de produits centrés utilisateurs. Les divers cas rencontrés ont permis de diversifier, et même d'adapter la proposition en fonction de l'environnement de conception, voire du type d'interlocuteurs composant l'environnement de conception. Il est évident que les recherches et expérimentations effectuées ont permis de développer une expertise en conception de produits et de systèmes dans le domaine de la santé (médical et handicap), avec de très fortes interactions avec le terrain.

L'ensemble des réalisations effectuées et des confrontations réalisées avec les partenaires de ces projets de recherche nous confronte continuellement aux exigences de «*personnalisation du produit*» par rapport aux «*outils et méthodes de conception standard*» qui sont mobilisées de manière automatiques par les élèves-ingénieurs notamment. Les objectifs de nos propositions sont bien de proposer des solutions pour permettre aux groupes interdisciplinaires de concepteurs de suivre une démarche permettant d'aboutir à des produits :



- soit modulaire et donc adaptables aux capacités physiques et motrices de l'utilisateur,
- soit suffisamment génériques pour satisfaire plusieurs utilisateurs experts, sans personnalisation spécifique.

C'est bien grâce à ces derniers questionnements que nous ouvrons une parenthèse de recherche sur les aspects de modularité combinatoire et de LPD pour les produits dans le domaine de la santé et du handicap.

## 2. Outils et technologies pour les praticiens hospitaliers

### a. Outils pour l'évaluation des fonctions motrices

#### *Éléments de contexte*

Le terme de maladies neuromusculaires (MNM) regroupe les affections touchant les muscles et le système nerveux. Dans ces affections, l'unité motrice constituée par le muscle, la jonction nerf/muscle et le nerf fonctionne mal et le muscle ne peut pas se contracter normalement. Il existe plus de 200 maladies différentes avec des spécificités (symptômes, âge de survenue...) correspondant à une atteinte différente de l'unité motrice. Parmi elles, l'Amyotrophie Spinale Infantile (ASI) est une MNM de l'enfance autosomique récessive, caractérisée par une dégénérescence des motoneurones de la corne antérieure de la moelle. Des découvertes récentes sur la pathogénèse de l'ASI ont suscité des espoirs sur de possibles approches thérapeutiques spécifiques dans cette pathologie et de nombreux essais thérapeutiques sont en projet ou en cours. La fonction motrice a été identifiée comme un critère de jugement principal pertinent dans ce contexte pathologique.

Plusieurs outils ont donc été développés dans l'objectif de mesurer de façon valide, reproductible et sensible la fonction motrice de patients atteints de MNM, et en particulier d'ASI. Il s'agit d'échelles constituées de différents items administrés aux patients et cotés par des thérapeutes, dont la Mesure de Fonction Motrice (MFM), échelle développée par notre équipe partenaire du CHU de Lyon à partir de 1998. Cette échelle constituée de 32 items permet de mesurer de façon précise et reproductible la fonction motrice de patients adultes et enfants porteurs d'une MNM, quel que soit le niveau de sévérité de leur atteinte.

Proposer une MFM à un patient nécessite la disponibilité d'un thérapeute formé ; la formation est en effet indispensable pour maintenir une bonne reproductibilité inter individuelle pour la totalité des items. Malgré des sessions standardisées d'entraînement MFM, il persiste une variabilité inter individuelle dans la procédure de cotation des items de la MFM, dépendant principalement de l'évaluateur et de ses qualités intrinsèques de cotateur. Ainsi la formation, l'humeur ou la motivation du thérapeute par exemple sont autant de facteurs difficilement contrôlables ayant des conséquences sur la cotation et sur la mesure. En fonction des qualités intrinsèques des items il y a également une différence en termes de reproductibilité inter individuelle et intra individuelle justifiant une approche automatisée et standardisée de la cotation de la fonction motrice.

L'objectif de ce travail est de proposer un outil d'évaluation ludique, précis et reproductible de la fonction motrice inspirée de la MFM, la Kinect-MFM. L'approche par pathologie, en particulier le choix de l'ASI, est motivé par le nombre d'essais importants dans cette pathologie mais également par la préservation intacte de toutes les capacités cognitives de ces enfants en faisant une population idéale pour débiter ce projet. A ce jour (au 21 janvier 2016), 3 patients ASI ont été cotés.



Nous voulons proposer à des jeunes patients ASI un protocole standardisé innovant d'évaluation des fonctions motrices du tronc et des membres en utilisant la technologie MKv2 (seconde version de la Microsoft Kinect). Ces fonctions motrices avaient été clairement identifiées lors de la création de la MFM il y a presque 20 ans de cela et serviront de base à la mise au point de cet outil.

Des thérapeutes spécialisés dans la passation de la MFM, des chercheurs ayant déjà une expérience dans l'application de l'outil Kinect en médecine et des chercheurs spécialisés dans l'analyse des processus socio-cognitifs et des nouvelles technologies (collaboration avec le laboratoire Interdisciplinaire de Psychologie) seront impliqués dans ce projet.

Les retombées attendues de ce projet sont la création d'un outil ludique adapté à l'enfant porteur d'une ASI. La Kinect-MFM permettra aux enfants de jouer le jeu choisi par le kinésithérapeute en fonction de ses spécificités (évolution de la pathologie, évaluation de caractéristiques spécifiques...) tout en permettant une mesure précise de leur fonction motrice dans un cadre clinique et/ou d'un essai thérapeutique. Pendant cette phase de jeu, tous les événements liés à la cinématique du geste seront enregistrés, capitalisés et formalisés, suivant les exigences des praticiens.

#### *Développement du projet*

Les différentes phases de ce projet consistent en : (1) l'identification des fonctions motrices évaluées par la MFM qui seraient les plus discriminantes dans l'ASI, (2) l'identification des paramètres nécessaires à la cotation de ces fonctions, (3) le développement des stratégies d'algorithme permettant la cotation des enfants, et (4) l'intégration de ces paramètres de mouvement ou de posture dans des scénarios de jeux significatifs pour l'enfant et (5) une étude de validation de l'outil Kinect-MFM dans une population d'enfants atteints d'ASI

#### ***Etape 1 : Identification des fonctions motrices évaluées par la MFM les plus discriminantes dans l'ASI***

Cette étape vise la sélection de fonctions motrices évaluées par les différents items de la MFM, qui composeront ensuite le nouvel outil Kinect MFM. La version définitive de la MFM a été validée entre 2002 et 2003 par l'étude de 303 patients atteints d'une maladie neuromusculaires âgés de 6 à 60 ans. Elle est composée de 32 items, chacun côté de 0 à 3. Les détails de la passation de la MFM et leurs consignes de cotation sont décrits dans le manuel utilisateur (<http://mfm-nmd.org>).

Les items retenus pour composer l'outil Kinect-MFM seront sélectionnés selon les critères suivants :

- Faisabilité technique de la mesure par l'outil MKv2
- Identification des composantes à évaluer par le MKv2 par l'équipe conceptrice du protocole d'évaluation MFM
- Identification des items les plus discriminants dans l'ASI

#### ***Etape 2 : Identification des paramètres nécessaires à la cotation des fonctions qui seraient mesurables par l'outil MKv2***

Cette étape consiste à repérer quelles variables permettent d'évaluer les fonctions déterminées par le consensus d'experts : amplitudes articulaires ou éléments posturaux par exemple. Il s'agira ensuite de confirmer la pertinence du MKv2 couplé au logiciel KinectLAB pour récupérer les données utiles des patients, en temps réel.

### ***Etape 3 : Développement des stratégies d'algorithme permettant leur cotation***

Afin d'obtenir un score évaluant les fonctions motrices de l'ASI, les chercheurs et les thérapeutes définiront ensemble des critères de cotation précis. Ces derniers feront ensuite l'objet d'un développement d'algorithmes, qui permettront une cotation automatique par le logiciel KinectLAB.

### ***Etape 4 : Intégration des paramètres de mouvement ou de posture dans des scénarios de jeux significatifs pour l'enfant***

Cette étape concerne l'intégration des paramètres de mesures identifiés et vérifiés précédemment dans un scénario de jeu motivant et adapté à l'âge de l'enfant. Nous retrouvons ici un deuxième avantage de la technologie MKv2 qui permet également l'élaboration et le contrôle de jeux vidéo. Ces expériences de jeu peuvent s'intégrer dans des situations de réalité virtuelle ou de réalité augmentée. Ces activités divertissantes permettront d'obtenir une meilleure participation de l'enfant. Par leur caractère ludique, elles permettront aussi d'éloigner l'enfant d'un contexte d'évaluation stricte. Cela pourra également le soulager des conséquences physiques et psychologiques de l'évaluation.

### ***Etape 5 : Etude de validation de l'outil Kinect-MFM dans une population d'enfants atteints d'ASI***

L'objectif de cette étude de validation sera de démontrer :

- la validité concomitante de la Kinect-MFM par rapport à la MFM
- sa fiabilité test-retest
- sa sensibilité au changement

Pour résumer, le schéma ci-dessous (figure 61) montre de manière très simplifiée la méthodologie que nous pensons suivre pour le déroulement de ce projet. A partir d'une description médicale de l'item actuel de la MFM, nous allons chercher à le décomposer en mouvements de base, notamment avec l'aide d'experts MFM identifiés et par l'intermédiaire d'un questionnaire et de la méthode Dephi. Il s'agit de travailler à la transcription de ces mouvements en modèles mathématiques pour reconstruire les évaluations de passation de l'item sous forme algorithmique.

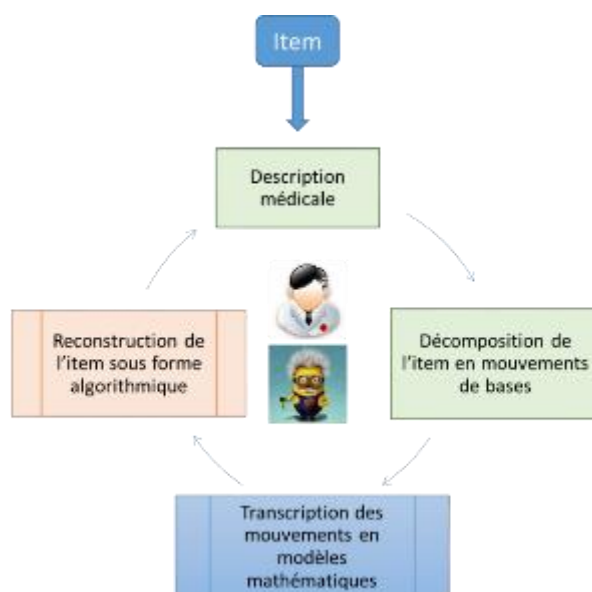


Figure 61. Processus de développement de l'outil Kinect-MFM

Tout au long du déroulement de ce processus, il sera question de la pertinence de l'utilisation du MKv2 pour détecter l'ensemble des mouvements pertinents du patient ASI. Aussi, si nécessaire, nous développerons des outils ou proposerons des méthodes complémentaires pour compléter d'éventuelles lacunes détectées lors de nos investigations.

Nous pensons pertinents également de réfléchir à combiner certains items pour réaliser la cotation ludique auprès de patients ASI de manière plus ludique encore. Par contre, les éléments primordiaux à intégrer dans nos réflexions sont la volonté des thérapeutes de ne pas modifier en profondeur les items identifiés initialement pour la création de l'échelle MFM pour ne pas avoir à revalider cliniquement de nouveaux items.

#### *MKv1 pour l'analyse des fonctions motrice pour les ASI : résultats préliminaires*

Une étude préliminaire visant à évaluer la pertinence de la technologie du logiciel KinectLAB dans la cotation des items de l'échelle MFM a été réalisée au laboratoire G-SCOP en trois temps, avec le MKv1 pour le moment :

- Sélection d'items susceptibles d'être évalués par l'outil logiciel KinectLAB en étroite collaboration avec des praticiens utilisant la MFM
- Détermination des stratégies d'algorithmes à implémenter dans le logiciel KinectLAB pour coter le score des activités motrices des sujets sur les items sélectionnés de la MFM
- Expérimentations avec des patients pour déterminer les corrélations entre un «score thérapeute» et un «score Kinect».

##### 1. Sélection des items

Des items de la MFM ont été sélectionnés en collaboration entre des chercheurs du laboratoire G-SCOP et des thérapeutes du CHU de Grenoble ayant une expérience significative de la passation de la MFM. Leur sélection a été basée principalement sur la capacité de la MKv1 à détecter la position de départ et la tâche à exécuter de ces items. Finalement, 5 items ont été choisis pour l'étude de la pertinence technologique de la MKv1 pour l'analyse des capacités motrices avec la MFM (tableau 18).

N° de l'item	Activité à réaliser
15	Mettre les deux mains sur la tête
16	Toucher le crayon avec sa main
24	Se mettre debout
25	Lâcher l'appui si possible et se tenir droit
26	Lâcher l'appui si possible et lever le pied

Tableau 18. Liste des items sélectionnés pour l'étude

##### 2. Exemple de stratégies d'algorithmes

Les stratégies d'algorithme de l'item 15 de la MFM et des exemples de cotations de cet item sont présentés ici (le manuel utilisateur décrivant le détail de la passation et des cotations des items de la MFM est disponible sur le site : <http://mfm-nmd.org>).

### La procédure expérimentale

Pour cette procédure expérimentale, le sujet se situe au milieu des limites pratiques de profondeur de la MKv1 soit à 2,35m de la caméra (voir position S sur la figure 62). Elle est réglée à hauteur du buste du sujet pour optimiser la détection de ses mouvements dans son champ de vision. Le thérapeute est positionné dans des zones d'observations bien spécifiques (voir position T sur la figure 62) pour qu'il n'affecte pas les mesures du Squelette Numérique (SN) du logiciel KinectLAB.

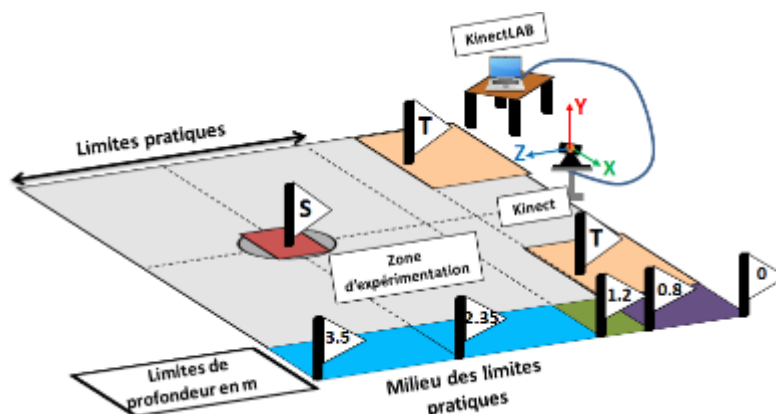


Figure 62. Représentation de la procédure expérimentale

### Stratégie d'algorithme

Pour l'item 15 de la MFM, le sujet préalablement assis sur une chaise ou dans son fauteuil roulant, les avant bras posés sur la table et les coudes en dehors de la table doit mettre les deux mains sur la tête. La cotation de cet item se présente de la manière suivante :

- 0 : ne soulève pas les 2 mains de la table,
- 1 : soulève les 2 mains de la table mais les avant-bras restent en contact avec la table,
- 2 : soulève les 2 avant-bras de la table mais ne parvient pas à porter les 2 mains en même temps sur le sommet du crâne. Les mains atteignent au moins le niveau de la bouche,
- 3 : porte en même temps les 2 mains sur le sommet du crâne, la tête et le tronc restant dans l'axe.

Les consignes de cotation spécifiques du manuel utilisateur de la MFM ont été utilisées pour comprendre les composantes de cet item et celles des données du SN du logiciel KinectLAB à coupler pour coter le score. Les composantes du SN du logiciel KinectLAB sont ensuite à comparer avec les composantes de l'item 15 de la MFM. Un thérapeute référent et spécialisé dans la passation de la MFM a effectué les mouvements représentatifs à chaque cotation de l'item (0, 1, 2 et 3) afin d'analyser les évolutions des points du SN du logiciel KinectLAB pendant l'exécution des activités de l'item.

### Exemples de cotation

Pour la cotation 2 par exemple, le thérapeute était assis sur une chaise, les deux mains et les avant-bras sur la table et les coudes en dehors de la table. La figure 63 montre une courbe représentant les positions des mains par rapport à celles de la tête. A partir de la position initiale, il a soulevé les mains au niveau de la bouche (phase 1 et 3 sur la figure 63) et avec une compensation au niveau du tronc, il a soulevé ses mains sur la tête (phase 2 et 4 sur la figure 63). Pour les phases 1 et 3, les positions des mains du SN sont bien en dessous de la position de la tête tandis que pour les phases 2 et 4, elles sont bien au-dessus. Des analyses complémentaires montrent qu'il est possible de vérifier si

l'utilisateur a bien soulevé ses avant-bras. Il est ainsi possible pour cette composante de mesurer l'amplitude des mouvements des bras par l'angle d'abduction des épaules.

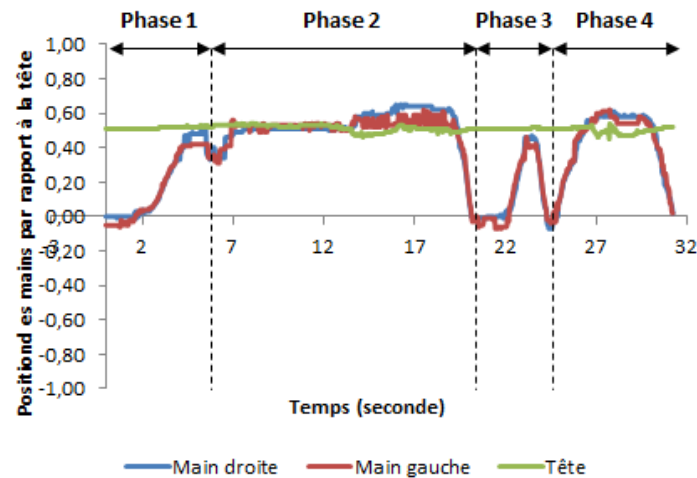


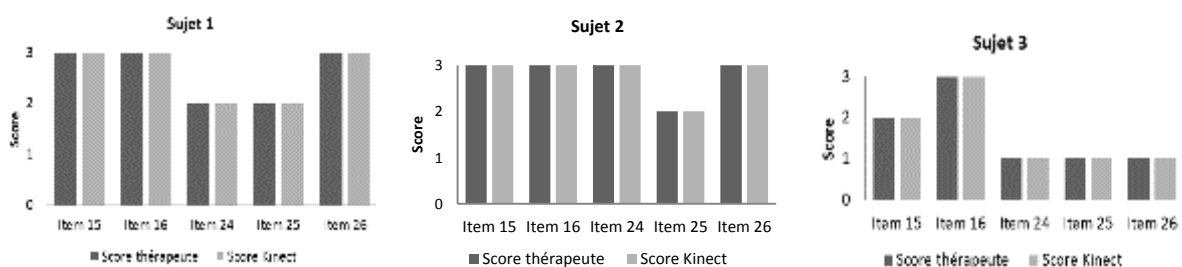
Figure 63. Représentation de la position verticale des mains par rapport à la tête pour la cotation 2

### 3. Corrélation entre un score kinésithérapeute et un score Kinect

Cette expérience s'est déroulée avec la participation de 3 patients volontaires. Pour chaque item sélectionné et pour chaque sujet, le thérapeute expliquait les tâches à réaliser selon les instructions décrites dans le manuel utilisateur.

Les scores des items de la MFM ont été cotés directement par le thérapeute et le logiciel KinectLAB a enregistré dans une base de données les informations du SN relatives aux mouvements du sujet. Le logiciel de calcul numérique Scilab a été utilisé et une fonction spécifique de calcul a été programmée pour chaque stratégie d'algorithmes pour coter le score Kinect.

Les figures 64 montrent, respectivement pour chaque sujet, les scores thérapeutes et les scores Kinect de 0 à 3 générés pour les items sélectionnés dans cette phase préliminaire (items 15, 16, 24, 25 et 26 de la MFM). Une corrélation de 100 % a été observé, montrant que les données du système KinectLAB couplées à nos stratégies d'algorithmes ont permis de détecter les compensations des sujets.



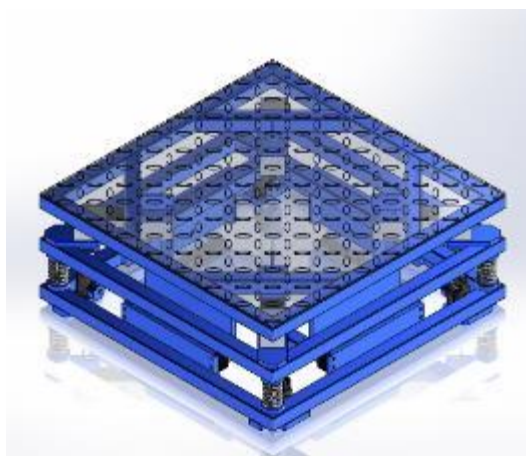
Figures 64. Corrélation parfaite du score thérapeute et score Kinect pour 3 sujets volontaires

Cette étude a permis d'étudier la pertinence technologique du logiciel KinectLAB qui, couplé à des algorithmes bien spécifiques, est capable de caractériser des activités motrices à partir d'une tâche particulière. Les résultats ont montré qu'il est possible de corrélérer parfaitement le score MFM marqué par un thérapeute avec un score Kinect-MFM sur les 5 items sélectionnés (résultats similaires en termes de cotations). Le sujet de doctorat de Justine Coton (débuté en décembre 2014) a pour objectif

la conception d'un environnement adapté pour effectuer une cotation si possible automatisée et ludique auprès des patients ASI. Ce processus de conception sera tout naturellement collaboratif avec patients, praticiens, thérapeutes, ingénieurs et chercheurs et nécessitera la recherche de moyens technologiques à bas coûts complémentaires pour compléter les capacités du MKv1, puis du MKv2 à évaluer de manière fiable la cotation sur certains items.

#### b. Plates-formes de force

Dans le cadre de mes déplacements dans les universités brésiliennes et notamment lors de trois mois de participation aux activités du laboratoire de mécanique de la FEG/UNESP, j'ai participé à l'encadrement de la thèse de Vania dos Reis Miranda. Son année passée au laboratoire G-SCOP dans le cadre d'une thèse sandwich avait comme objectif de concevoir une plate-forme de force couplée à une MKv1 pour mesurer les variations de centre de pression (CoP en anglais) de patients. L'idée est de valider ces équipements comme fiables, robustes, portables, non-invasif et à bas coût. Nous avons donc eu l'occasion de construire une nouvelle plate-forme de force équipée de quatre ressorts pouvant être échangés, de quatre potentiomètres linéaires et de deux ventouses électromagnétiques permettant le blocage ou le déblocage de la plate-forme (figures 65 a et b).



Figures 65. (a) Modèle de la plate-forme de force et (b) plate-forme de force développée au laboratoire G-SCOP

Les objectifs scientifiques sont de valider les technologies à utiliser et la configuration du MKv2 à développer pour trouver des résultats expérimentaux comparables aux systèmes commerciaux composés de plate-forme à mousse. La valeur du CoP est donnée directement par la répartition de la charge au niveau des quatre capteurs de force. Les premiers résultats montrent que les valeurs trouvées par notre banc d'expérience sont du même ordre de grandeur que celles observées dans les références bibliographiques mobilisant les plates-formes à mousse.

Pour évaluer un équilibre postural, plusieurs conditions expérimentales de références sont à mener. Le tableau 19 ci-dessous résume les résultats dans deux colonnes principales : l'aire de l'oscillation totale du CoP (en mm<sup>2</sup>) et sa vitesse moyenne (en mm/s). Les valeurs sont calculées dans les quatre conditions suivantes :

- yeux ouverts (OE ou *Open Eyes*) sur plate-forme stable
- yeux fermés (CO ou *Closed Eyes*) sur plate-forme stable
- yeux ouverts sur plate-forme instable
- yeux fermés sur plate-forme instable

Bibliography	Total oscillation area (95%) [mm <sup>2</sup> ]				Mean speed [mm/s]			
	OE stable	OE unstable	CE stable	CE unstable	OE stable	OE unstable	CE stable	CE unstable
<b>Actual (healthy)</b>	<b>313,88</b>	<b>655,45</b>	<b>740,13</b>	<b>650,72</b>	<b>5,58</b>	<b>7,01</b>	<b>7,55</b>	<b>7,32</b>
[Fujimoto, 2009] (healthy)	221,00	471,00	366,00	1457,00	11,00	16,40	16,90	39,00
[Cusin, 2010] (healthy)	168,00	-	180,00	762,00	7,30	-	9,00	76,20
[Garcia, 2012] (healthy)	39,97	104,63	80,50	748,62	11,00	19,00	16,00	57,00
[Garcia, 2013] (Vestibular disease)	267,00	-	453,00	1300,00	8,50	-	11,10	26,80
[Carneiro, 2013] (healthy)	-	-	-	-	12,90	15,20	13,40	18,10

Tableau 19. Résultats des différentes situations expérimentales pour l'évaluation de l'équilibre postural

Une variation des données entre les études peut être observée et l'augmentation de l'instabilité est évidente dans toutes les études sur l'état OE (stable vers instable) ainsi que pour notre plate-forme réalisée avec des ressorts. Pour la condition CE, de la plate-forme stable vers instable, toutes les études montrent une augmentation de la zone d'oscillation, sauf pour la nôtre.

L'instabilité est présent à la fois sur la plate-forme et sur celle avec de la mousse, mais la surface rigide de la plate-forme avec des ressorts fournit des réactions posturales différentes des réactions dans la surface molle comme la mousse, en particulier lorsque la vision ne contribue pas à ces paramètres (CE).

Les plates-formes de forces informent sur les forces de réactions dues aux déplacements de la masse corporelle du sujet. Nous essayons dans nos expérimentations d'utiliser le MKv1 pour mesurer précisément le Centre de Masse Total (CMT) du patient. Le CMT peut être calculé directement à partir de centres de masse de segments corporels. Grâce à différents points du squelette fourni par le SN et choisi stratégiquement, il est possible de recalculer des centres de masse segmentaires pour tracer ensuite le CMT. La figure 66 montre les résultats obtenus pour un CMT, au laboratoire G-SCOP, mobilisant notre plate-forme de force et le MKv1. Nous remarquons la très grande précision de cette valeur, qui varie de 10mm dans le sens médio-latéral (ML ou de la gauche vers la droite) et de 25mm dans la direction antéro-postérieur (AP ou avant vers arrière).



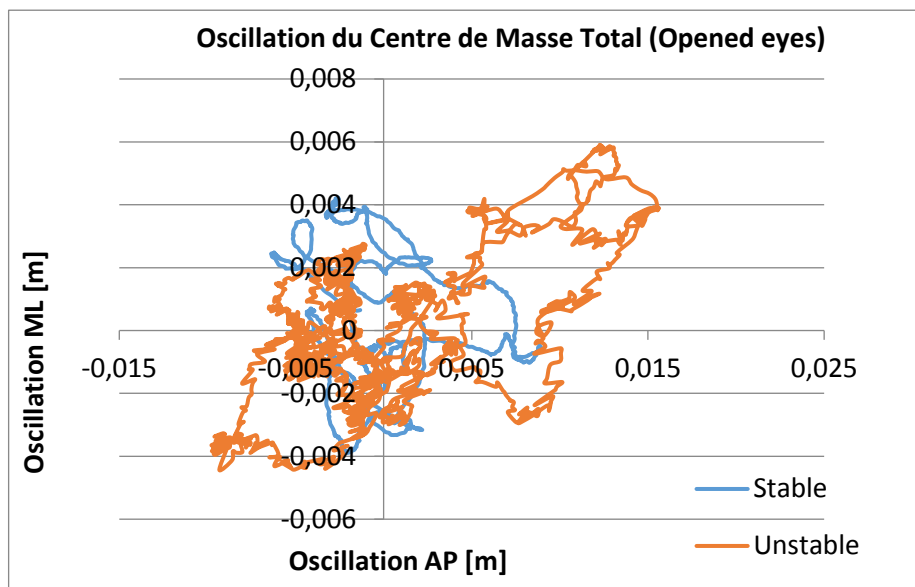
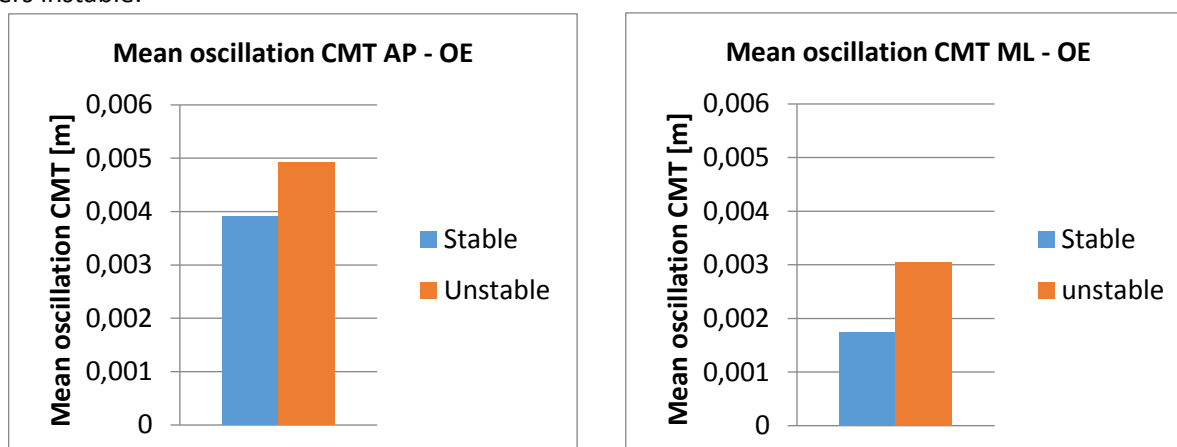


Figure 66. Oscillation du CMT donné via la Kinect de Microsoft

Les figures 67 montrent les résultats sur les plates-formes stable et instable de l'oscillation moyenne du CMT dans les directions AP et ML dans la condition yeux ouverts. Nous remarquons là aussi une augmentation de la valeur de l'oscillation moyenne lors du passage de la plate-forme stable vers instable.



Figures 67. Oscillation moyenne AP et ML du centre de masse total, condition yeux ouverts

Ces résultats très encourageant nous poussent à continuer nos recherches dans l'utilisation combinée de la plate-forme instable à ressorts avec le MKv2. Une fois les relations entre CMT et CoP mis en évidence par nos expérimentations, nous analyserons les pistes permettant de remplacer progressivement les plates-formes de force, onéreuse et encombrantes par cet outil bas coût et transportable.

Les travaux sont encore très longs pour arriver à valider cliniquement notre proposition de plate-forme instable à ressorts. A court terme, il s'agit de passer des essais déjà réalisés sur plate-forme stable, à des essais yeux ouverts avec déblocage de la plate-forme. Il s'agit donc d'analyser les réactions des patients lors du déblocage soudain de la plate-forme. Suite à cette première condition expérimentale proposée par le spécialiste kinésithérapeute, nous pourrions analyser la situation avec les yeux fermés avec déblocage de la plate-forme, tout en ayant conscience que le patient peut anticiper ce changement stable vers instable. Grâce aux relations professionnelles que nous avons déjà



avec les chercheurs du TIMC-IMAG avec qui nous avons mené les expériences détaillées dans [AI 9], nous pourrions évaluer les stratégies d'anticipation et de compensation de l'équilibre à partir de ces conditions.

Puisque les volontés des thérapeutes est de permettre un diagnostic sur mesure pour les personnes âgées, nous devons ensuite collecter des données avec plate-forme instable avec le groupe de personnes âgées, établir les différences entre les groupes et identifier les principaux paramètres qui indiquent les risques de chutes.

Sur cette thématique de l'évaluation de la stratégie du contrôle postural utilisant une plate-forme de force, j'ai animé un séminaire expérimental lors mon passage de 15 jours à la FEG/UNESP en mars 2015. Mes interventions auprès des étudiants de Master Recherche et des professeurs du département, lors d'une journée dédiée m'ont valu d'être sollicité pour participer à deux activités de recherche développées à la FEG/UNESP.

- la première concerne le développement d'une plate-forme permettant de mesurer l'influence de la fatigue sur les muscles inverseurs pour une entorse latérale de la cheville. La plate-forme a actuellement déjà été conçue en CAO et les équipements complémentaires de type électromyographie sont en cours d'installation. Un des étudiants de la filière Ingénierie de Produit de Grenoble INP – école de Génie Industriel est actuellement en double diplôme à la FEG/UNESP et travaille en stage sur le montage de ce banc d'essai. Les travaux de recherche doivent permettre aux ingénieurs et chercheurs de fournir les équipements et stratégies adéquats aux spécialistes dont le but est de fiabiliser les modèles de la cheville dans toute sa complexité et de proposer ensuite des stratégies de rééducation appropriés.
- le second concerne le développement d'une nouvelle plate-forme de force stable mais inclinée pour mesurer l'équilibre des personnes âgées, s'y déplaçant de face avec les yeux ouverts. L'équilibre corporel est considéré comme la capacité à maintenir le centre de masse à l'intérieur de la base de sustentation durant l'exécution complète de la tâche, de manière sécuritaire, rapide et coordonnée, lors de la présence de perturbations externes. Pour un bon contrôle postural durant les exécutions des activités fonctionnelles, trois stratégies peuvent être utilisées : stratégie de la cheville, la stratégie de la hanche et de la stratégie pas à pas. Les résultats que les thérapeutes espèrent obtenir lors des expériences avec les personnes âgées est l'observation de l'utilisation de la stratégie de la hanche pour maintenir la position d'équilibre. En fonction des résultats et des analyses, le système développé doit être capable de fournir aux professionnels de santé des moyens matériels pour prendre des décisions thérapeutiques adaptés à chaque patient.

Ces deux exemples font partie d'un groupe de projets plus complet dans la spécialité de 3<sup>ème</sup> cycle intitulée Semiology à la FEG/UNESP. Ma participation à la thèse de doctorat de Vania dos Reis Miranda, la venue durant deux mois du professeur José Elias Tomazini au laboratoire G-SCOP et mes missions à répétitions dans le département de mécanique de la FEG m'ont permis d'acquérir une position de collaborateur privilégiée avec quelques professeurs brésiliens.

Le MKv1 a prouvé ses performances sur les études réalisées avec les professionnels de santé dans les deux projets de recherche présentés. Le MKv2 est un outil plus puissant répondant en grande partie aux exigences imposées par différents professionnels partenaires de mes activités de recherche. Que ce soit comme interface utilisateur pour la pratique musicale instrumentale, pour améliorer la détection de l'équilibre postural ou pour repenser les évaluations des fonctions motrices pour certains

patients, nous l'utilisons avec l'outil KinectLAB qui propose plusieurs modules permettant cette adaptation. Il constitue donc actuellement une de mes ressources technologiques principales et un moyen de répondre efficacement en totalité ou en partie, aux exigences du milieu médical.

### 3. Projets interdisciplinaires à l'international

Une de mes propositions sur du plus long terme serait de rapprocher quelques laboratoires ou départements brésiliens travaillant en conception de produits dans le domaine de la santé et dans lesquels j'ai déjà effectué au moins un long séjour. La thématique de recherche principale serait de répondre aux besoins des professionnels de santé. L'intégration des spécificités physiques et intellectuelles et cognitives des utilisateurs en conception, les techniques d'élicitation des besoins des professionnels de santé, nos compétences multidisciplinaires sont des exemples de compétences que nous voulons mettre en commun. Se rajoute à cela l'arrivée des nouvelles technologies comme le prototypage rapide, l'immersion 3D, la retro-ingénierie qui nous ouvrent de nouvelles perspectives en conception et fabrication. Leur place dans le processus de conception des produits et l'existence de nombreuses méthodologies de la conception impliquant l'utilisateur (Inclusive/Universal Design, User Centred Design, participatory design Ability-Based design, etc.) est un point fort de cette proposition.

Elle consiste à rassembler les compétences multi-technologiques et connaissances théoriques autour d'une problématique commune : l'étude, la conception et la fabrication de produits d'assistance pour des personnes âgées ou en situation de handicap. La proposition est également fortement centrée sur nos caractéristiques internationale et interculturelle qui auront vocation à mettre en évidence les spécificités contextuelles des usages des produits par les utilisateurs finaux. Des observations et analyses des processus de conception des systèmes permettront d'enrichir nos connaissances méthodologiques et nos manipulations d'outils et de technologies de pointe liées au contexte étudié.

Fort de mes expériences de recherche dans le domaine du handicap et de mes relations développées au Brésil, notamment à l'UNESP et à l'UFPB, une de mes propositions serait de travailler ensemble pour mener à bien plusieurs projets interdisciplinaires riches et valorisant d'un point de vue scientifique et technologique et humain.

Chacun des trois groupes de recherche (FEG/UNESP, CT/UFPB et G-SCOP) mène à sa manière des développements produits à destination des personnes âgées ou en situation de handicap. Dans les trois situations, les professionnels de santé interviennent et sont présents avec les utilisateurs et les équipes de concepteurs et de chercheurs. Ainsi, un trio de compétences identique a déjà été observé chez chacun des partenaires. Il est constitué des scientifiques/technologues/chercheurs, des professionnels du milieu paramédical, et des utilisateurs/clients. Ces expériences concrètes de développement de produits constituent le point de départ motivant notre projet de recherche. De plus, chaque institution travaille déjà concrètement en lien avec les milieux socioculturels locaux. Cette proposition donnera l'opportunité de travailler avec des chercheurs dont les connaissances interdisciplinaires sont complémentaires et indispensables au développement des produits :

- Professionnels du paramédical : kinésithérapeutes, ergothérapeutes, médecins
- Enseignants-chercheurs : mécanique (conception, simulation éléments-finis, fabrication, prototypage rapide, conception collaborative, résistances des matériaux), génie industriel (processus de conception, management des connaissances, modélisation), électronique (conception, fabrication, systèmes embarqués), biomécanique (modélisation et simulation),

automatique, etc.

A partir des expériences échangées entre chacune des équipes participantes, notre objectif premier est de proposer des pistes de réflexion méthodologiques pour permettre le développement de ces produits d'assistance sur mesure. Plus concrètement, il serait envisageable de proposer :

- des outils, des moyens et des techniques pour appréhender le besoin d'utilisateurs en situation de handicap,
- des définitions et caractéristiques des prototypes permettant de les fabriquer en intégrant leurs utilités et fonctionnalité au cours du processus de conception du système,
- des outils et méthodes concrets permettant de faciliter les travaux de conception de produit en équipes pluridisciplinaires et interculturelles,
- et des caractérisations du produit en fonction aussi de son contexte social et culturel d'utilisation.

Ensuite, grâce au travail commun sur quelques produits, nous espérons pouvoir formaliser des outils et méthodes utilisables en dehors du contexte de l'étude.

Ma connaissance des fonctionnements de ces départements des universités concernées devrait nous permettre d'envisager dans ce projet :

- des missions d'étude des étudiants de doctorat brésiliens en France et les stagiaires français au Brésil. Ces échanges constituent la base du travail technique et scientifique de développement des produits,
- des travaux des chercheurs post-doctorants brésiliens en France qui auront pour objectifs de rapprocher concrètement les équipes de recherche des trois institutions autour d'une méthodologie de travail commune. Les longues périodes de post-doctorat permettront une immersion importante et essentielle pour ce travail,
- des missions de travail ainsi que les réunions plénières qui permettraient aux chercheurs d'effectuer des bilans des avancées et des recadrages nécessaires en cours de projet. Ces recadrages permettront de réorienter nos activités vers les buts recherchés : former des docteurs brésiliens et français, participer à la demande d'habilitation du PPGEF du CT/UFPB au niveau doctoral intégrer des jeunes chercheurs dans les programmes de 3ème cycle.

Les co-encadrements d'étudiants de doctorat et les missions des chercheurs post-doctorant permettront également d'organiser des séminaires de recherche pour faciliter les partages d'expériences en développements de produits et méthodologies de recherche en technologie d'assistance.

Pour aller plus loin dans cette idée et si les premières étapes fonctionnent correctement, l'ambition est de créer un laboratoire international sur cette thématique, en y conviant des laboratoires et équipes de recherche françaises de références telles que le Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI) ou l'Institut de Recherche sur les Transports, l'Energie et la Société (IRTES).

#### 4. Conclusion

Ce document m'a permis de faire un point sur un peu plus de dix années de travail en recherche. De l'instrumentation d'un coloscope à la proposition de création d'un laboratoire international multidisciplinaire dans le domaine de la conception de produit pour le handicap ... du chemin a été parcouru.

Dans la totalité de mes activités professionnelles, qu'elles soient en recherche, en enseignement ou en participation administrative, je considère qu'une implication personnelle complète est indispensable. Lors des travaux en conception de systèmes, il est essentiel de chercher à connaître tous les acteurs, leurs rôles, leurs savoir-faire, leurs implications et leurs interactions. La manière dont ils interagissent entre eux mais aussi en relation avec le futur produit à concevoir doit être étudiée. Les outils et les méthodes à mobiliser pour cela peuvent exister, mais il est important d'avoir conscience qu'ils peuvent aussi être à proposer sur mesure. En fonction du contexte, aussi simple soit-il en apparence, le chercheur doit être capable de se remettre lui-même en question par rapport à ses acquis, mais il doit aussi être capable de mobiliser les ressources nécessaires pour proposer une nouvelle vision des choses.

C'est dans ce cadre que je pense pouvoir apporter mon expertise pour analyser les outils technologiques, méthodes et processus qui peuvent être réutilisés lors d'une nouvelle étude de conception pour professionnel de santé ou pour PSH. Je suis très motivé pour être un acteur majeur dans ces axes de recherche en mobilisant et saisissant les opportunités liées au terrain, et pour chercher à déployer de nouveaux outils technologiques et proposer des approches méthodologiques. Je tiens à cœur de mêler dès que possibles des activités de formation pédagogique aux activités de recherche pour deux raisons :

- les activités de recherche constituent une ressource immense de projets pédagogiques qui peuvent être proposés auprès d'étudiants élèves-ingénieurs, curieux et motivés par ces expériences originales nouvelles,
- l'implication d'étudiants peut réellement révéler des passions pour le métier de la recherche ; observer et accompagner la naissance de cette la passion dans le regard d'étudiants n'a réellement pas de prix.

J'ai co-encadré jusqu'à présent trois étudiants de doctorat, deux sont actuellement en cours et j'ai encadré également de nombreux étudiants de Master Recherche. Je bénéficie entre 2012 et 2016 de la Prime d'Excellence Scientifique et j'ai à nouveau postulé pour la PEDR en 2016. J'ai également participé à quelques organisations de conférences internationales. Mon implication à Grenoble INP est forte puisque je suis chargé de mission handicap et que cet axe a toujours été très actif et dynamique tant au niveau local que national.

Mes thématiques activités associatives et en recherche permettent également de proposer de projets pédagogiques très motivant pour beaucoup d'étudiants. De même, je considère qu'un étudiant en thèse de doctorat doit découvrir l'ensemble des activités d'un enseignant-chercheur et ma philosophie est de les impliquer dans une variété d'activités leur permettant de découvrir le métier de Maître de Conférences dans sa globalité.

Dans l'école de Génie Industriel, j'ai la responsabilité de plusieurs modules de formation et plus récemment la mise en place du nouveau Projet Bachelor impliquant tous les étudiants de première

année et pratiquement tous les enseignants de l'école. A partir de la rentrée de septembre 2016, je prendrai la responsabilité de la filière Ingénierie de produits de l'Ecole de Génie Industriel.

Pour mon évolution de carrière, je pense que prendre la responsabilité d'une équipe de recherche dans le laboratoire G-SCOP pourrait être très gratifiant et me permettrait de découvrir encore d'autres spécificités et rouages stratégiques.

Mes activités à l'international, et notamment au Brésil sont reconnues. J'ai été sollicité pour être consultant expert scientifique pour le Conseil National du Développement Scientifique et Technologique du Brésil (CNPq – équivalent du CNRS) dès fin 2014. J'ai été sollicité pour animer une session d'ouverture de Workshop international (WIMAS 2015) et je suis sollicité pour réaliser la session plénière d'ouverture de la 16<sup>ème</sup> Rencontre annuelle de l'Association brésilienne de Génie Industriel en octobre 2016 à Joao Pessoa, Paraíba, Brésil.

(<http://www.abepro.org.br/enegep/2016/index.asp>).

## V. Synthèse des activités de recherche passées et les perspectives

Les activités de recherche sur lesquelles j'ai construit mon référentiel théorique sont basées sur l'approche UCD. Complété des méthodologies de Conception Participative, Recherche Action et de Conception basée sur les scénarios, mon travail se veut fortement interdisciplinaire et de terrain. Mes terrains d'investigation sont le médical et le handicap, c'est pourquoi mes collaborateurs scientifiques sont nombreuses et variées.

J'ai eu la chance et l'opportunité de côtoyer de nombreux professionnels de santé, notamment gastroentérologues pour la conception et la fabrication d'équipement médicaux instrumentés. Dans ce cadre, les développements de bancs d'essais m'ont permis d'enrichir mes compétences et connaissances techniques nécessaires dans ce milieu très contraint. J'ai aussi appris énormément aux côtés de chirurgiens orthopédiques et spécialistes en traumatologie. J'ai appris à intégrer l'environnement professionnel des utilisateurs spécialisés pour développer aux mieux les prototypes nécessaires à l'évaluation des nouveaux usages. Les outils d'observations et d'analyse des activités ont été mobilisés auprès de ces spécialistes. Ils m'ont permis d'approfondir les notions de conception basée sur les scénarios et d'émulations pour aller vers des propositions de processus prescriptif de développement d'instruments chirurgicaux. Ces réflexions autour de processus co-évolutif produit-usages permettent une remise en cause simultanée des fonctions du produit et des manipulations associées. Grâce aux opérations chirurgicales observées dans cette thématique de recherche, des développements d'environnements virtuels ont eu lieu. Ils ont permis d'enrichir nos connaissances sur la représentation du produit par le spécialiste et de créer avec lui un espace d'immersion compatible avec nos objectifs scientifiques et techniques. Un bras à retour d'effort connecté à un logiciel de conception assistée par ordinateur a été mobilisé. Nous avons ainsi pu simuler l'intervention chirurgicale et définir les paramètres techniques et d'usage permettant d'améliorer la conception de l'instrument innovant et sa mise en œuvre.

Ma seconde grande thématique de recherche implique des utilisateurs (enfants, adolescents et adultes) en situation de lourds handicaps moteurs. Une des applications concrètes est la recherche et le développement de solutions d'interfaces ergonomiques leur permettant la pratique musicale instrumentale. Ce travail est lui aussi fortement interdisciplinaires. Outre les kinésithérapeutes, ergothérapeutes et autre professionnels du domaine paramédical en général, nous travaillons régulièrement avec les spécialistes musiciens dans le processus de développement des produits et systèmes ergonomiques. Les connaissances des capacités physiques des utilisateurs en situation de handicap sont primordiales pour les équipes de conception. Les définitions des méthodes et des outils à mobiliser pour les identifier et les paramétrer constituent l'objet principal de mes recherches dans ce domaine. Pour cela, les implications des collaborateurs du milieu médical est indispensable. Pour jouer d'un instrument avec une excellente qualité musicale, les enseignants musiciens du Conservatoire de musique Grenoble sont très sollicités et mobilisés. Nos collaborations avec eux ne se limitent pas aux objectifs de définition et de réglage des actionneurs permettant l'interaction avec les instruments. Par exemple, les ergothérapeutes et les musiciens travaillent ensemble pour définir les gestes les plus adaptés pour une activité musicale donnée associée à une capacité physique donnée. Ainsi, mes recherches tendent à proposer des méthodes de conception adaptées aux besoins et compétences de chacun pour le développement d'un système performant tant musicalement que dans son utilisation par les PSH. Basée sur l'UCD, une proposition de processus de conception nommée

CARACTH permet ainsi la prise en compte systématiques des caractéristiques des utilisateurs en situation de handicap dans le processus de conception de produits. Les nombreuses demandes des PSH constituent des occasions de développer régulièrement des systèmes et personnalisés et innovants. Elles nous permettent également de remettre régulièrement en cause notre proposition de modèle de processus de conception de produit.

Mon principal projet actuel émane d'une demande des pédiatres et kinésithérapeutes dans le cadre des maladies neuromusculaires (MNM). Les MNM regroupe les affections touchant les muscles et le système nerveux. Dans ces affections, l'unité motrice constituée par le muscle, la jonction nerf/muscle et le nerf fonctionne mal et le muscle ne peut pas se contracter normalement. Il existe plus de 200 maladies différentes avec des spécificités (symptômes, âge de survenue, etc.) correspondant à une atteinte différente de l'unité motrice. Parmi elles, l'Amyotrophie Spinale Infantile (ASI) est une MNM de l'enfance. Des découvertes récentes sur la pathogénèse de l'ASI ont suscité des espoirs sur de possibles approches thérapeutiques spécifiques dans cette pathologie et de nombreux essais thérapeutiques sont en projet ou en cours. La fonction motrice a été identifiée comme un critère de jugement principal pertinent dans ce contexte pathologique. Plusieurs outils ont donc été développés dans l'objectif de mesurer de façon valide, reproductible et sensible la fonction motrice de patients atteints de MNM, et en particulier d'ASI. Il s'agit d'échelles constituées de différents items administrés aux patients et cotés par des thérapeutes, dont la MFM, échelle développée par nos collaborateurs thérapeutes à partir de 1998 à Lyon. Cette échelle constituée de 32 items permet de mesurer de façon précise et reproductible la fonction motrice de patients adultes et enfants porteurs d'une maladie neuromusculaire, quel que soit le niveau de sévérité de leur atteinte.

Proposer une MFM à un patient nécessite la disponibilité d'un thérapeute formé ; la formation est en effet indispensable pour maintenir une bonne reproductibilité inter individuelle pour la totalité des items. Malgré des sessions standardisées d'entraînement MFM, il persiste une variabilité inter individuelle dans la procédure de cotation des items de la MFM, dépendant principalement de l'évaluateur et de ses qualités intrinsèques de cotateur. Ainsi la formation, l'humeur ou la motivation du thérapeute par exemple sont autant de facteurs difficilement contrôlables ayant des conséquences sur la cotation et sur la mesure. En fonction des qualités intrinsèques des items il y a également une différence en termes de reproductibilité inter individuelle et intra individuelle justifiant une approche automatisée et standardisée de la cotation de la fonction motrice.

L'objectif de ce travail de recherche est de mobiliser les paramètres contextuels émanant des thérapeutes et des patients pour définir et développer un outil d'évaluation ludique, précis et reproductible de la fonction motrice inspirée de la MFM. L'approche par pathologie, en particulier le choix de l'ASI, est motivé par le nombre d'essais importants dans cette pathologie mais également par la préservation intacte de toutes les capacités cognitives de ces enfants en faisant une population idéale pour débiter ce projet. Nous voulons proposer à des jeunes patients ASI un protocole standardisé innovant d'évaluation des fonctions motrices du tronc et des membres en utilisant la technologie proposé par l'outil Microsoft Kinect (MK). Ces fonctions motrices avaient été clairement identifiées lors de la création de la MFM il y a presque 20 ans de cela et serviront de base à la mise au point de cet outil.

Ces grandes thématiques de recherche sont riches de collaborations et de réflexions interdisciplinaires. Les activités que j'ai développées dans le domaine de la santé tracent relativement clairement les domaines dans lesquels je revendique mes compétences et mes expertises. Mes

perspectives de recherche à courts termes sont la continuité du travail pour et avec les professionnels de santé et les PSH dans les applications définies ci-dessus. Les travaux de développement de produits dans le domaine musical sont extrêmement motivants surtout parce que chaque cas rencontré sur le terrain a ses spécificités. Ainsi, en répondant favorablement à une demande pour la pratique d'un instrument de musique, nous pouvons en parallèle enrichir nos réflexions et compléter nos contributions scientifiques et méthodologiques. De plus, les nombreux travaux actuels ont été exclusivement axés sur les instruments de percussions. Des demandes commencent à affluer sur des pratiques d'instruments à vent et à cordes. Les problématiques et défis techniques sont différents, les verrous scientifiques et propositions méthodologiques n'en seront que mieux enrichis.

Les travaux autour du développement d'un nouveau protocole MFM utilisant la Kinect sont très motivants et ouvrent de nombreux questionnements scientifiques et méthodologiques. Nous avons non seulement à «décortiquer» le protocole de mesure actuel, mais également à assimiler l'ensemble des notions théoriques manipulées par les thérapeutes. L'outil développé devra mobiliser les connaissances intrinsèques des thérapeutes pour permettre une cotation semi-automatique des fonctions motrices de patients. Les évolutions technologiques offertes par la MK sont très avantageuses pour la problématique posée mais ne répondent pas à toutes les exigences imposées par le protocole de mesure. Un de nos futurs travaux consistera donc à développer des technologies et stratégies d'analyses complémentaires et définir les scénarios associés permettant le déroulement complet du protocole de mesure de manière ludique.

L'approche Ability Based Design permet un développement de produits pour les PSH en fonction de leurs capacités physiques avérées. C'est également le cas dans le cadre de mes recherches pour personnaliser l'interface utilisateur et permettre une utilisation efficace et performante de l'instrument de musique. Mes questionnements actuels s'orientent vers la mobilisation des principes de la conception modulaire de manière complémentaire à l'ABD. Serait-il possible de proposer une architecture produit permettant d'associer des champs a priori opposés ? Vers la conception et la fabrication de produit de masse personnalisé à bas coût ...

Enfin, j'ai comme objectif de faire fructifier les expériences de mes séjours de recherche et d'enseignement effectués au Brésil. Suite à la tentative échouée d'un premier projet de recherche soumis (CAPES COFECUB) liant l'UFPB, l'UNESP et G-SCOP, des relations très profondes se sont créées entre les enseignants-chercheurs de ces trois universités. Les thématiques de recherche auxquelles j'ai participé, impliquant des professionnels du milieu médical, des PSH et des enseignants-chercheurs de différents départements d'ingénieries me motivent au plus haut point pour développer des activités de recherche internationales durables sur ces thématiques, également avec des partenaires français. Mes séjours réguliers et les excellentes relations établies au Brésil devraient nous permettre de concrétiser ensemble officiellement nos désirs de collaborations sur le long terme.





## VI. Publications personnelles

### 1. Articles soumis dans des revues Internationales à comité de lecture : 2

- [ASI 1] **Guillaume Thomann**, Justine Coton, Marcel de Gois Pinto, Julien Veytizou, François Villeneuve, Design for disability: Customer-Oriented Manufacturing and Integration of human factor for the design of an electro-mechanical drum stick system, Int. J. Of Computer Integration Manufacturing, **2015**  
 Accepté avec révision mineure, nouvelle version envoyée en juillet 2015, en cours de révision
- [ASI 2] Julien Veytizou, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Validity of the Microsoft Kinect V1 use for upper limbs assessment with a user in wheelchair, RESNA journal; Assistive Technology, 2015  
 Accepté avec révision majeure, nouvelle version envoyée le 22 septembre 2015, en cours de révision

### 2. Articles publiés dans des revues Internationales à comité de Lecture (AI) : 9

- [AI 1] S. Berger - E. Aubry - F. Marquet - **G. Thomann**, Experimental modal shape identification of a rotating asymmetric disk, subjected to multiple-frequency excitation - Use of FIR filters, Experimental Techniques - The Society for Experimental Mechanics, November/December 2003, Vol 27(6), 44-48  
 DOI : 10.1111/j.1747-1567.2003.tb00137.x
- [AI 2] **Guillaume Thomann**, Gang Chen, Tanneguy Redarce, Design and control of an autonomous bendable tip for colonoscopy, The Journal of Micro-Nano Mechatronics, 2008, Vol 4(3), 103-114  
 DOI : 10.1007/s12213-008-0006-x
- [AI 3] Rahi Rasoulifar, **Guillaume Thomann**, and François Villeneuve, Expert user-centred design, a cooperative product development approach, AIJSTPME-Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering, April/June, 2010, Vol 3(2), 1-13
- [AI 4] Magnier C., **Thomann G.**, Villeneuve F., Zwolinski P., Methods for designing assistive devices extracted from 16 case studies in the literature, International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), May 2012, Vol 6(2), 93-100  
 DOI: 10.1007/s12008-012-0143-2
- [AI 5] Magnier C., **Thomann G.**, Villeneuve F., Seventeen Projects carried out by Students Designing For And With Disabled Children: Identifying Designers' Difficulties During The Whole Design Process, Assistive Technology, The Official Journal of RESNA, 2012, Vol 24(4), 273-285  
 DOI: 10.1080/10400435.2012.669808
- [AI 6] Veytizou, J., Magnier, C., Villeneuve, F., **Thomann, G.**, Integrating the human factors characterization of disabled users in a design method. Application to an interface for playing acoustic music. Association for the Advancement of modelling and Simulation Techniques in Enterprise, AMSE Biotechnology, 2012, Vol 73(3), 173-184.
- [AI 7] Romain Farel, Onur Hisarciklilar, Jean-François Bujout, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Challenges in expert user participation in design evaluation meetings, Journal of Design Research, 2013, Vol 11, 186-201.  
 DOI : 10.1504/JDR.2013.055155

- [AI 8] **Guillaume Thomann**, Cécile Magnier, François Villeneuve, Richard Palluel-Germain, Designing for Physically Disabled Users: the Benefits of Human Motion Capture - A Case Study, Disability and Rehabilitation : Assistive Technology, Juillet, 2015, 1-6

DOI : 10.3109/17483107.2015.1042078

- [AI 9] Olivier I., Baker C., Cordier J., **Thomann G.**, Nougier V., Cognitive and motor aspects of a coincidence-timing task in Cerebral Palsy children, Neuroscience Letters, 2015, Vol 602; 33-37

### 3. Article publié dans des revues Nationales à comité de Lecture

(AN) : 1

- [AN 1] **Thomann Guillaume**, Artigue Vincent, Choix d'une commande adaptée à l'utilisation d'une prothèse myoélectrique de membre supérieur, Journal de l'orthopédie, Décembre **2011**, n°42.

### 4. Brevets (BR) : 2

- [BR 1] Tonetti Jérôme, **Thomann Guillaume**, Vignat Frédéric, Appareil de fixation d'un référentiel optique sur une personne, 17 pages.

N/réf. : FR0900323, 26 janvier **2009**

- [BR 2] Tonetti Jérôme, **Thomann Guillaume**, Alain Di Donato, Vouaillat Hervé, Rasoulifar Rahi, François Villeneuve, Outil pour la préhension d'un implant sous forme de tige dans une intervention chirurgicale minimalement invasive, 12 pages

N/réf : FR0953378, 20 mai **2009**

### 5. Chapitres d'Ouvrage (OU) : 2

- [OU 1] **Guillaume Thomann**, Jean Caelen, Morgan Verdier, Brigitte Meillon, Mise en place de scénarios pour la conception d'outils en Chirurgie Minimalement Invasive, Chapitre 6 Dans l'ouvrage : Les Systèmes de Production, Novembre **2007**, 93-107, pages totales livre : 309

Editeur commercial : Lavoisier, Editeur Scientifique : Hermès-Sciences, ISBN 978-2-7462-1819-2

- [OU 2] Julie Thony, **Guillaume Thomann**, Jacques Cordier, Alain Di Donato, Adaptation Ergonomique du Matériel Musical : un projet interdisciplinaire concret au service des enfants handicapés, Expériences en Ergothérapie, XXIème Séries, **2008**, 196-203, pages totales livre : 259

Editeur : Sauramps médical, ISBN 978-2-84023-579-8

### 6. Communications dans des congrès Internationaux à comité de

Lecture (CI) : 41

- [CI 1] **G. Thomann**, M. Bo Nielsen, M. Bétemps, T. Redarce, The design of a colonoscope, 5th Franco-Japanese congress, 3rd European-Asian congress of Mechatronics, Besançon, France, October 9-11, **2001**, 423-427

- [CI 2] **G. Thomann**, M. Bétemps, T. Redarce, O. Blasi, The Design of an Intelligent Surgical Tool for the Intestinal Inspection, 11th International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, IEEE-ROMAN 2002, Berlin, Germany, September 25-27, **2002**, 448-453

- [CI 3] **G. Thomann**, M. Bétemps, T. Redarce, The Design of a new Type of Micro Robot for the Intestinal Inspection, IROS 2002, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, EPFL, Switzerland, September 30 - October 4, **2002**, Vol 2, 1385-1390
- [CI 4] **G. Thomann**, M. Bétemps, T. Redarce, A New Intelligent Tool for the Colonoscopy and Compatible with MIS, 24th Annual International Conference of the IEEE-EMBS and Annual Fall Meeting of the BMES, EMBS/BMES Conference, Houston Texas, USA, October 23-26, **2002**, Vol 3, 2362-2363.
- [CI 5] **G. Thomann**, M. Bétemps, T. Redarce, Study of a new Intelligent Tool for the Colonoscopy, 27th Annual Canadian Medical and Biological Engineering Conference, CMBEC 27, Delta Hotel, Ottawa, Ontario, November 21-23, **2002**, 4p.
- [CI 6] **G. Thomann**, M. Bétemps, T. Redarce, The Development of a Bendable Colonoscopic Tip, IEEE International Conference on Robotic and Automation, ICRA **2003**, Taipei, Taiwan, September 14-19, 2003, 658-663
- [CI 7] G. Chen, **G. Thomann**, M. Bétemps, T. Redarce, Identification of the Flexible Actuator of a Colonoscope, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2003, Las Vegas, USA, October 27-31, **2003**, 3355-3360
- [CI 8] **G. Thomann**, T. Redarce, Member IEEE, G. Chen M. Bétemps, First results of the progression of the micro robotic Tip for Colonoscopy, 35th Int. Symposium on Robotics, ISR 2004, Paris Nord, Villepinte, mars 23-26, **2004**, 6p.
- [CI 9] **G. Thomann**, T. Redarce, M. Bétemps, A New Mechanism for the Orientation of the Tip of the Endoscope for the Intestine Inspection, The International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science, 11th IFToMM World Congress, Tianjin, China, April 1-4, **2004**, 77-81
- [CI 10] **G. Thomann**, G. Chen, M. T. Pham, T. Redarce, M. Bétemps, Performance of a new Surgical tool for Colonoscopy, The First Congress on Men's Health Medicine, UNESCO House, Paris, April 5-8, **2004**, 1p.
- [CI 11] G. Chen, **G. Thomann**, M. T. Pham, M. Bétemps, T. Redarce, Modelling and Control of a Colonoscopic Tip under the Disturbance of The Insert, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2004, Sendai International Center, Sendai, Japan, September 28 – October 02, **2004**, 3315-3320
- [CI 12] Hanène Chettaoui, **Guillaume Thomann**, Chokri Ben Amar, Tanneguy Redarce, Extracting and tracking Colon's "Pattern" from Colonoscopic Images – CRV 2006, In Proceeding of the Third Canadian Conference on Computer and Robot Vision, IEEE Proceeding, Québec city, Canada, June 7 – 9, **2006**, 65-70
- [CI 13] **G. Thomann**, J. Caelen, Proposal of a new Design Methodology including PD and SBD in Minimally Invasive Surgery, The International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science 12th IFToMM World Congress, Besançon, France, June 18-21, **2007**, 6p.
- [CI 14] **G. Thomann**, V. Artigue, Mechanical Design, Control Choices and first Return of Use of a Prosthetic Arm, The International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science 12th IFToMM World Congress, Besancon, France, June 18-21, **2007**, 6p.
- [CI 15] S. Butdee, C. Noomtong, F. Vignat, **G. Thomann**, Methodology of Knowledge Library Management for Concurrent Cooperative Design, Proceedings of the 24th International Manufacturing Conference, IMC 24, Waterford Institute of Technology, Waterford, Ireland, August 29 - 30, **2007**, 711-718
- [CI 16] Rahi Rasoulifar, **Guillaume Thomann**, Jean Caelen and François Villeneuve, Proposal of a new Design Methodology in the Surgical Domain, International Conference On Engineering Design, ICED'07, Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris, France, August 28–31, **2007**, 12p.

- [CI 17] R. Rasoulifar, **G. Thomann**, F.Villeneuve, Engineering Design in surgery: An analyze model for prototype validation, CIRP Design Conference 2008: Design Synthesis, Twente, the Netherlands, April 7-9, **2008**, 6p.
- [CI 18] Rahi Rasoulifar, **Guillaume Thomann** and François Villeneuve, Integrating an expert user in the Design Process: How to make out surgeon needs during a new surgical instrument design; case study in Back Surgery, In Proceedings of the TMCE 2008, Seventh International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, Izmir, Turkey, April 21-25, **2008**, 415-426
- [CI 19] **Guillaume Thomann**, Alain Didonato, Jacques Cordier, Julie Thony, Ergonomic Adaptation of Musical Materials Project: First Experience Feedbacks of a Two-Year Multidisciplinary Human Experience of Mechanical Engineering Students, The 10th International Conference on Engineering and Product Design Education, E&PDE08, Barcelone, Spain, September 4-5, **2008**, 196-202
- [CI 20] Rahi Rasoulifar, Jenny Dankelman, **Guillaume Thomann**, and François Villeneuve, Healthcare Management Technology; Place of Design process and role of the universities, The Third European Conference on Management of Technology, EuroMOT 2008, Nice, France, September 17-19, **2008**, 13p.
- [CI 21] Rahi Rasoulifar, Jenny Dankelman, **Guillaume Thomann**, and François Villeneuve Education in healthcare engineering: Learn from, collaborate with and design for an expert user, Proceedings of CIMEC 2008, CIRP International Manufacturing Engineering Education Conference, Nantes, France, October 27-29, **2008**, 5p.
- [CI 22] R. Rasoulifar, **G. Thomann**, F. Villeneuve, Scenarios and the Design Process in Medical Applications, CIRP Design Conference 2009: Competitive Design, Cranfield, UK, March 30 - 31, **2009**, 6 p
- [CI 23] **G. Thomann**, R. Rasoulifar, F. Villeneuve, Applying Scenarios in the context of Specific User Design: Surgeon as an Expert User, and Design for Handicapped Children, CIRP Design Conference 2009: Competitive Design, Cranfield, UK, March 30 - 31, **2009**, 8 p.
- [CI 24] V. Artigue, **G. Thomann**, Development of a prosthetic arm: experimental validation with the user and an adapted software, IEEE International Conference on Robotic and Automation, ICRA 09, Kobe, Japan, May 12-17, **2009**, 3079-3084
- [CI 25] Roucoules, Lionel, Toxopeus Marten, Mathieux Fabrice, Reyes Tatiana, Grozav Ion, **Thomann Guillaume**, Marin, Philippe, Moriggi Paolo, Cobianchi Paolo, Virtual Prototyping: first practice of a European research, The 6th International Product Lifecycle Management Conference, PLM09, Bath, UK, July 6 – 9, **2009**,
- [CI 26] **G. Thomann**, R. Rasoulifar, B. Meillon, F.Villeneuve, Observation, annotation and analysis of design activities: How to find an appropriate tool? International Conference on Engineering Design, ICED'09, Stanford University, Stanford CA, USA, August 24 – 27, **2009**
- [CI 27] Onur Hisarciklilar, Rahi Rasoulifar, Jean-François Boujut, **Guillaume Thomann** and François Villeneuve, User-Designer collaboration in the design process of surgical instruments: new aspects for annotation as a communication tool, International Conference on Engineering Design, ICED'09, Stanford University, Stanford CA, USA, August 24 – 27, **2009**
- [CI 28] **Guillaume Thomann**, Museau Matthieu, Rahi Rasoulifar, Diana De Castro, An educational perspective to integrate the handicap in the engineering program: case study, The 11th International Conference on Engineering and Product Design Education, E&PDE09, University of Brighton, Brighton, UK, September 9-11, **2009**
- [CI 29] **Thomann Guillaume**, Rahi Rasoulifar, Roch Mader, Tonetti Jérôme, Teaching the user centred design approach in industrial engineering school: Application in design for trauma intervention, The 21st

- Conference of the Society of Medical Innovation and Technology, SMIT 09, Sanaia, Roumania, October 7-9, **2009**
- [CI 30] **Thomann Guillaume**, Tonetti Jérôme, Rahi Rasoulifar, François Villeneuve, Alain Di Donato, Observation and analysis of surgical tasks: annotation systems new rod insertion system for spinal fusion in MIS, The 21st Conference of the Society of Medical Innovation and Technology, SMIT 09, Sanaia, Roumania, October 7-9, **2009**
- [CI 31] Dr. Cédric Masclet, Pr. Frédéric Noël, **Dr. Guillaume Thomann**, Pr. François Villeneuve, An Instrumented Process to Support User Centred Design, Virtual Prototyping: first practice of a European research, The 7th International Product Lifecycle Management Conference, PLM10, Bremen, Germany, 12 – 14 July, **2010**
- [CI 32] Magnier C., **Thomann G.**, Villeneuve F., Zwolinski P., Investigation on Methods for the Design of Assistive Device: UCD and Medical Tools, Proceedings of IDMME, (International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering) - Virtual Concept 2010, October 20-22, Bordeaux, France, **2010**
- [CI 33] **G. Thomann**, Q. V. Dang, J. Tonetti, F. Villeneuve, Which Virtual Reality Environment for Usage Evaluation of Innovative Surgical Instrument in Minimally Invasive Surgery?, 21th CIRP Design Conference, Kaist, Korea, March 27-29, **2011**, 180-186
- [CI 34] Julien Veytizou, Hugo Xuereb, **Guillaume Thomann**, Design of a clip product based on customer needs for playing acoustic music, 23th CIRP Design Conference, Bochum, Germany, March 11 -13, **2013**
- [CI 35] D. M. Phan Nguyen, J. Tonetti, **G. Thomann**, Virtual reality coupled with adapted physical interface for a better evaluation of the innovative surgical instrument, 23th CIRP Design Conference, Bochum, Germany, March 11 -13, **2013**
- [CI 36] **G. Thomann**, D. M. Phan Nguyen, J. Tonetti, Expert's evaluation of innovative surgical instrument and operative procedure using haptic interface in virtual reality, International Conference on Health Care Systems Engineering, Milan, Italy, May 22-24, **2013**, 163-173
- [CI 37] Danny TUPAYACHY, **Guillaume THOMANN**, Maria DI MASCOLO, Organizational logic models based on a literature review to improve the quality of care for fragile persons at home, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM'2013, Rabat - Morocco, October 28 - 30, **2013**
- [CI 38] Phan Nguyen Duy Minh, J. Tonetti, **G. Thomann**, Đánh giá dụng cụ phẫu thuật mới bằng giao diện xúc giác trong thực tế ảo, Evaluation of innovative surgical instrument using haptic interface in virtual reality, Hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2013, Da Nang, VietNam, **2013**; 820-825
- [CI 39] Justine Coton, Marcel de Gois Pinto, Julien Veytizou, **Guillaume Thomann**, Design for disability: Integration of human factor for the design of an electro-mechanical drum stick system, 24th CIRP Design Conference, Milano, Italy, April 14-16, **2014**
- [CI 40] Vania Cristina dos Reis Miranda, José Elias Tomazini, Marcelo Sampaio Martins, **Guillaume Thomann**, Evaluation of balance with test of strategies of balance on a force platform, VI Congresso Internacional de Fisioterapia Manual, Joao Pessoa, Brasil, April 30-May 4, **2014**
- [CI 41] Marcel De Gois Pinto, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Exploratory research about the customization or personalization of assistive products for walking allowed by the use of lean product development and mass customization principles, 20th International Conference on Engineering Design (ICED15), Milan, Italy, Juillet, 27-30, **2015**

## 7. Communications dans des congrès Nationaux à Comité de Lecture (CN) : 20

- [CN 1] **G. Thomann**, M. Bo Nielsen, N. Nzihou, T. Redarce, Etude d'un Endoscope Intelligent, 4èmes Journées du Pôle de Micro Robotique, INSA de Lyon, Lyon, France, 4-5 juillet, **2001**, 6p.
- [CN 2] S. Berger, F. Marquet, E. Aubry, **G. Thomann**, Méthode expérimentale d'identification et de localisation des diamètres nodaux d'un disque en rotation, 15ème Congrès Français de Mécanique, Nancy, France, 3-7 septembre **2001**, 165-170.
- [CN 3] **G. Thomann**, M. Bétemps, P. Pinsard, T. Redarce, Conception d'un nouveau type d'endoscope intelligent compatible avec la MIS, 15èmes journées des jeunes chercheurs en Robotique, JJCR'15, LSIIT Strasbourg, Strasbourg, France, 31 Janvier, 1er février, **2002**, 8p.
- [CN 4] S. Berger, E. Aubry, F. Marquet, **G. Thomann**, Identification expérimentale des déformées modales d'un disque asymétrique, en rotation soumis à des excitations à fréquences multiples, XIIIème Colloque Vibrations, Chocs et Bruit, Lyon, France, 12-14 juin, **2002**
- [CN 5] **Guillaume Thomann**, Tanneguy Redarce, Maurice Bétemps, Conception et réalisation d'un Micro Robot pour la Coloscopie, 5ème Journées du Pôle de Micro Robotique, 1ères Journées du RTP Microrobotique, IRISA et ENS Cachan, Antenne de Bretagne, Rennes, France, 6 et 7 novembre, **2002**, 7p.
- [CN 6] **G. Thomann**, M. Bétemps, T. Redarce, Réalisation d'une tête d'Endoscope pour l'inspection Intestinale, 17èmes journées des jeunes chercheurs en Robotique, JJCR'17, Laboratoire de Robotique de Versailles, Versailles, France, 3 et 4 avril, **2003**, 121-127.
- [CN 7] **G. Thomann**, Présentation des performances de l'EDORA01 (Extrémité Distale à Orientation Automatisée), destinée aux opérations de coloscopie, 6èmes Journées du Pôle Microrobotique, 2èmes Journées du RTP Microrobotique, ENSI de Bourges, Bourges, France, 3 et 4 Décembre, **2003**, 7p.
- [CN 8] G. Chen, M. T. Pham, **G. Thomann**, T. Redarce, Parallel Controller of Disturbance Rejection for Colonoscopic Tip, 18èmes journées des jeunes chercheurs en Robotique, JJCR'18, Ecole des Mines de Douai, Douai, France, 8 Septembre, **2004**, 10-15
- [CN 9] Mirna Atieh-Younes, Pierre-Yves Glorennec, **Guillaume Thomann**, Vincent Artigue, Utilisation des signaux EMG pour la commande intelligente de main et de coude, 2ème Colloque sur Les Nouvelles Technologies et la Cité, Cité & TIC 2004, Rennes, France, 9 Décembre, **2004**, 9p.
- [CN 10] **Guillaume Thomann**, Jean Caelen, Morgan Verdier, Brigitte Meillon, Mise en place de scénarios pour la conception d'outils en Chirurgie Minimale Invasive, Colloque Institut de la Production et des Organisations Industrielles - Cluster GOSPI, IPI 2006, Allevard, France, 27-29 novembre, **2006**, 12p.
- [CN 11] Rahi Rasoulifar, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Jean Caelen, Premières propositions de modèle d'analyse de scénarios, pour la conception d'outils chirurgicaux innovants, 10ème Colloque National AIP PRIMECA, La Plagne, France, 17-20 avril, **2007**, 12 p.
- [CN 12] Rahi Rasoulifar, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Jean Caelen, Vers une analyse de scénario, pour la conception d'outils chirurgicaux innovants, 18ème Congrès Français de la Mécanique, Grenoble, France, 27-31 août, **2007**, 6p.
- [CN 13] **Guillaume Thomann**, Alain Di Donato, Matthieu Museau, Jacques Cordier, Julie Thony, Le projet d'Adaptation Ergonomique du Matériel Musical : Source d'activités pédagogiques à l'Université, 11ème Colloque National AIP PRIMECA, La Plagne, France, 22-24 avril, **2009**, 12p.
- [CN 14] **Guillaume Thomann**, Cécile Magnier, Emilie Cornu, François Villeneuve, Analyse de l'activité pour améliorer les pratiques des élèves ingénieurs en conception : application à l'adaptation ergonomique

du matériel musical, 12ème Colloque National AIP PRIMECA, Le Mont Dore, France, 29 Mars - 1er avril, **2011**, 11p.

- [CN 15] Julien Veytizou, Cécile Magnier, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Intégration d'outils scientifiques et techniques dans un processus de conception : modélisation des facteurs humains pour les IHM, Handicap 2012, Paris, France, 13-15 juin, **2012**, 91-96
- [CN 16] Julien Veytizou, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Réflexion sur une méthodologie intégrant l'analyse des spécificités motrices dans le processus de conception, 13ème Colloque National AIP PRIMECA, Le Mont Dore, France, 27-30 Mars, **2012**, 10p.
- [CN 17] Julien Veytizou, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Un produit universel pour une interface sur mesure, 2ème Colloque Jeunes Chercheuses, Jeunes Chercheurs (JCJC), Handicap, Vieillesse, Indépendance, Technologies, Université Paris 8, Paris, France, 13 juin, **2013**, 11p.
- [CN 18] Julien Veytizou, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve. De la caractérisation des spécificités motrices vers la conception d'interfaces personnalisables, Handicap 2014 Les technologies d'assistance : de la compensation à l'autonomie, Paris, France, 11-13 Juin, **2014**, 6p.
- [CN 19] Julien Veytizou, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, L'approche CARACTH : Concevoir des produits ajustés aux capacités motrices des usagers, 14ème Colloque National AIP PRIMECA, Le Mont Dore, France, 31 mars au 2 avril, **2015**, 7p.
- [CN 20] Justine Coton, Julien Veytizou, **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, Etude pilote pour l'utilisation de la Kinect V2 pour l'évaluation motrice des maladies neuromusculaires. Cas de la MFM, 3ème Colloque Jeunes Chercheuses, Jeunes Chercheurs (JCJC), Handicap, Vieillesse, Indépendance, Technologies, Université Paris 8, Paris, France, 11 juin, **2015**, 6p.

## 8. Conférence invitée : 1

- [CIN 1] **Guillaume Thomann**, Workshop on Additive Manufacture in Healthcare, Workshop Internacional em Manufaturas Aditivas, WIMAS 2015, Campina Grande, Brazil, 18 – 20 November, 2015.

<http://www.wimas2015.com/programa.html>

## 9. Autres Communications (AC) : 18

- [AC 1] **G. Thomann**, R. Silveira, La robotique chirurgicale, émission radio, Radio Campus, Lyon, 2001
- [AC 2] **G. Thomann**, Conception et réalisation d'un endoscope intelligent - Poster, Doctoriales 2002, 24-29 mars 2002, Sévrier, Rhône-Alpes, France.
- [AC 3] **G. Thomann**, Conception d'un nouveau type d'instrument chirurgical pour la coloscopie, Résumé, 1er Colloque des doctorants de Lyon, INTERSCIENCES2002, 4 avril 2002, Lyon.
- [AC 4] **G. Thomann**, Conception d'un endoscope intelligent - Poster, 13ème Rencontres Régionales de la Recherche, 26 Septembre 2002, Alexpo, Grenoble.
- [AC 5] **G. Thomann**, La Robotique au secours de la Médecine, Le Progrès du Rhône, 29/12/2002.
- [AC 6] **G. Thomann**, La Robotique au secours de la Médecine, Le Progrès de l'Ain, 01/01/2003.
- [AC 7] **G. Thomann**, L'aventure intérieure de Guillaume Thomann, les Dernières Nouvelles D'Alsace, Mardi 25 février 2003, Pages Locales, Arrondissement 12, N° 47, page 12.
- [AC 8] **G. Thomann**, Premiers résultats expérimentaux suite à la conception d'un prototype de tête de coloscope, JNRR'03, Poster, 4èmes Journées Nationales de la Recherche en Robotique, Village de Murol, 8 et 9 octobre 2003, IFMA Clermont-Ferrand le 10 octobre 2003.



- [AC 9] **G. Thomann**, Les robots de service prennent vie, L'Usine Nouvelle, du jeudi 1er au mercredi 7 avril 2004, N°2911, pp.48 et 49.
- [AC 10] **G. Thomann** Robotique Chirurgicale et Coloscopie, Premier Colloque de l'Ecole Doctorale EEA de Lyon, 21 et 22 octobre 2004, ESCPE de Lyon.
- [AC 11] **G. Thomann**, Projet AE2M, Musique et Handicap : Les Nouvelles de Grenoble, Novembre 2007, page 8.
- [AC 12] **Guillaume Thomann**, François Villeneuve, The use of Virtual reality for the design of an innovative surgical instrument, Grenoble Interdisciplinary Days 2013, GID2013, First Edition: November 26th – 27th, 2013
- [AC 13] **Guillaume Thomann**, Vers une commercialisation des produits adaptés : "du prototype à la série" ou "de la formation universitaire à l'industrialisation, IFRATH, Institut National des Jeunes Sourds, Journée scientifique, 16 janvier 2014
- [AC 14] **G. Thomann** et J. Cordier, Une exposition autour des instruments de musique adaptés (mois de l'accessibilité de Grenoble). Le Dauphiné Libéré, 30 septembre 2014
- [AC 15] **Guillaume Thomann**, Utilisation de la réalité virtuelle pour l'innovation en chirurgie orthopédique, Tech'n Use, MSH-Alpes, Grenoble, 23 octobre 2014
- [AC 16] **Guillaume Thomann**, Un accès à la musique pour tous : l'interdisciplinarité au service de l'inclusion sociale des personnes handicapées, Grenoble Interdisciplinary Days 2014, GID2014, Second Edition: November 13th – 14th, 2014
- [AC 17] J. Coton, D. Vincent-Genod, J. Veytizou, **G. Thomann**, C. Vuillerot, Innovative method for motor functions evaluation in SMA type 2 and 3 patients, Myology Congress 2016, Poster, Lyon, France, March 14th – 18th, 2016
- [AC 18] J. Veytizou, J. Coton, **G. Thomann**, C. Vuillerot, Evaluation of the Microsoft Kinect and KinectLAB software as a clinical assessment tool of functional motor abilities, Myology Congress 2016, Poster, Lyon, France, March 14th – 18th, 2016

## VII. Encadrements effectués ou en cours

### 1. Co-encadrements de thèses de doctorat : 6

- Co-encadrement de la thèse de doctorat de **Rahi Rasoulifar** –G-SCOP, Université Joseph Fourier  
*Processus de conception centré utilisateur à base de scénarios : application à la conception d'instruments chirurgicaux innovants en chirurgie mini-invasive*  
*Scenario based user centred design process: application on innovative surgical instruments design for Minimally Invasive Surgery*  
**Octobre 2006 à Septembre 2009, thèse soutenue le 2 décembre 2009**  
**Directeur de Thèse François Villeneuve, Professeur des Universités, UJF**
- Co-encadrement de la thèse de doctorat de **Cécile Magnier** – G-SCOP, Université Joseph Fourier  
**D'octobre 2009 à Septembre 2012**, thèse abandonnée après le premier ATER, fin 2013  
**Directeur de Thèse François Villeneuve, Professeur des Universités, UJF**
- Co-encadrement de la thèse de doctorat de **Julien Veytizou**– G-SCOP, Université de Grenoble  
*Caractérisation des spécificités motrices d'utilisateurs en situation de handicap. Application à la conception de systèmes personnalisables pour la pratique musicale*  
**D'octobre 2011 à Septembre 2014, thèse soutenue le 9 décembre 2014**  
**Directeur de Thèse François Villeneuve, Professeur des Universités, UJF**
- Co-encadrement de la thèse de doctorat de **Marcel De Gois Pinto** – G-SCOP, Université de Grenoble  
**De mai 2013 à avril 2016** (soutenance prévue en septembre 2016)  
**Directeur de Thèse François Villeneuve, Professeur des Universités, UJF**
- Co-encadrement durant un an, de la thèse de doctorat de **Vania dos Reis Miranda** – thèse sandwich à G-SCOP, inscription administrative à l'UNESP, Sao Paulo, Brésil  
**De juillet 2014 à juin 2015 au laboratoire G-SCOP** (soutenance prévue en février 2016 à l'UNESP au Brésil)  
**Directeur de Thèse José Elias Tomazini, Professeur, UNESP, Brésil**
- Co-encadrement de la thèse de doctorat de **Justine Coton** – G-SCOP, Université de Grenoble  
**De décembre 2014 à novembre 2017**  
**Directeur de Thèse François Villeneuve, Professeur des Universités, UJF**

### 2. Encadrements de Post-doctorants : 2

- Encadrement (100 %) du Post-Doctorant **Matthieu Museau** – G-SCOP, Université Joseph Fourier.  
*Optimisation de la performance d'un actionneur permettant de jouer d'un instrument de percussion et fabrication en petite série – février à juillet 2009*
- Encadrement (100 %) du Post-Doctorant **Julien Veytizou** – G-SCOP, Université de Grenoble Alpes.

*Optimisation de la performance d'un actionneur permettant de jouer d'un instrument de percussion et fabrication en petite série – octobre 2015 à septembre 2016*

### 3. Encadrements de Master 2 Recherche ou assimilés : 20

#### a. Master Recherche : 18 (dont 2 en cours)

- option **Conception Mécanique de Andy CHAUDANSON** – Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP.  
*Conception d'une orthèse de membre supérieur pour une enfant hémiplégique-dyspraxique – janvier à juin 2016, soutenance à venir*  
*Encadrement 100%*
- option **Génie industriel de Yahya LAHROUR** – Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP.  
*Etude de faisabilité de fabrication en série de véhicules utilitaires adaptés aux personnes en situation de handicap ? – janvier à juin 2016, soutenance à venir*  
*Co-Encadrement 100%*
- option **informatique/ergothérapie de Eliza OLIVEIRA** – Centre d'Informatique, UFPB, Joao Pessoa, Brésil.  
*Utilisation d'un dispositif Multi-sensoriel pour la promotion du jeu pour les enfants avec paralysie cérébrale – mai 2013 à juin 2015, Master soutenu le 15 Juin 2015 à Joao Passoa, UFPB, Brésil*  
**Directrice de Master recherche : Tatiana Tavares, Professeur, Centre d'Informatique, UFPB, Brésil**  
*Co-encadrement 15%*
- option **ingénierie mécanique de Gislaïne PRISCILA DE ANDRADE** – Département de mécanique, Faculté de Guaratingueta, FEG/UNESP, Guaratingueta, Brésil.  
*Analyse de la distribution de la pression plantaire et de la posture chez des femmes utilisant des talons hauts, avec différentes hauteurs de talons – juin 2012 à juillet 2014, Master soutenu le 25 juillet 2014 à Guaratingueta, UNESP, Brésil*  
**Directeur de Master recherche : José Elias Tomazini, Professeur, Professeur, UNESP, Brésil**  
*Co-encadrement 15%*
- option **Génie industriel d'Amir Mahdi TAHERI** – Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP.  
*Personnalisation de la Kinect comme outil de mesure des capacités physiques des patients au CHU – janvier à juin 2014, Master soutenu le 25 juin 2014*  
*Encadrement 100%*
- option **Génie industriel de Pamela TUPAYACHI** – Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP.  
*Définir des Logiques Organisationnelles Innovantes et Efficientes pour Améliorer la Qualité de la Prise en Charge des Personnes Fragiles à Domicile – janvier à juin 2013, Master soutenu le 25 juin 2013*  
*Co-Encadrement 50% avec Maria Di Mascolo (G-SCOP)*
- option **Conception Mécanique de Ismah Adani MOHD NAZRI** – Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP.

*Amélioration des conditions d'évaluation de l'usage d'un instrument chirurgical innovant en environnement virtuel – janvier à juin 2013, Master soutenu le 26 juin 2013*

*Encadrement 100%*

- option **Conception Mécanique de Duy Minh PHAN NGUYEN** – Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP.

*Amélioration des conditions d'évaluation de l'usage d'un instrument chirurgical innovant en environnement virtuel – janvier à juin 2012, Master soutenu le 24 juin 2012*

*Encadrement 100%*

- **Pôle Cognition de Claudine BAKER** – Laboratoire TIMC-IMAG, UJF.

*Etude des déficits cognitifs d'enfants atteints d'infirmité motrice cérébrale dans le cadre de la conception d'instruments de musique adaptés – janvier à juin 2012, Master soutenu le 22 juin 2012*

*Co-encadrement 30%*

- option **Conception Mécanique de Ahmed AOUKILI** – Laboratoire G-SCOP, UJF.

*Simulation de l'usage d'un instrument chirurgical en environnement virtuel. Proposition d'une procédure de mise en situation optimale de l'utilisateur pour l'évaluation efficace d'un produit et de sa manipulation – janvier à juin 2011, Master soutenu le 14 juin 2011*

*Encadrement 100%*

- option **Conception Mécanique de Quoc Viet DANG** – Laboratoire G-SCOP, UJF.

*Intégration du processus de validation de l'usage d'un instrument chirurgical innovant dans l'environnement virtuel Catia avec bras à retour d'efforts – janvier à juin 2010, Master soutenu le 21 juin 2010*

*Encadrement 100%*

- option **Génie Industriel de Golnoosh RASOULIFAR** – G-SCOP, Grenoble INP.

*Analyse comparative d'activités de recherche centrée utilisateur. Recherche de critères et classification pour une meilleure adaptabilité de l'activité de Conception – janvier à juin 2009, Master soutenu le 16 juin 2009*

*Encadrement 100%*

- Stage de **Master M2-PFE de Diana DECASTRO** – G-SCOP, UJF.

*Gestion des connaissances en équipe de conception : application au projet d'Adaptation Ergonomique de Matériel Musical – janvier à juin 2009, Master soutenu le 16 juin 2009*

*Encadrement 50%*

- Stage de **Master M2 de Tu Anh PHAM** – G-SCOP, Grenoble INP.

*Mise en évidence des particularités liées à la certification CE de produits chirurgicaux innovants et intégration à la modélisation du processus de conception – janvier à juin 2008, Master soutenu le 25 juin 2008*

*Encadrement 100%*

- option **MCGM de Morgan VERDIER** – 3S, INP Grenoble.

*Amélioration du processus de conception pour la réalisation d'un ancillaire innovant destiné à une opération chirurgicale percutanée : recherche d'une procédure opératoire adaptée à l'outil innovant – novembre 2005 à juin 2006, Master soutenu le 23 juin 2006*

*Encadrement 100%*

- option **MCGM de Julien MAIRESSE** – 3S, INP Grenoble.

*Recherche participative dans le cadre de la conception à distance d'une orthèse : quels outils pour une conception efficace synchrone à distance d'un système de fixation d'une orthèse sur un fauteuil – novembre 2005 à juin 2006, Master soutenu le 23 juin 2006*

*Encadrement 100%*

- Stage de **DEA d'Automatique Industrielle de Frédéric OJARDIAS** – LAI INSA de Lyon.

*Réflexions et simulations sur la partie commande de la tête de coloscope – novembre 2001 à juin 2002.*

**Co-encadrement avec Maurice Bétemps, Professeur des Universités, INSA de Lyon**

*Co-encadrement 50%*

- Stage de **DEA d'Automatique Industrielle de Niémet NZIHOU** – LAI INSA de Lyon.

*Réflexions sur la partie automatisation de la tête de coloscope : quelle technique employer pour minimiser les contacts entre le coloscope et l'intestin – février à juin 2001.*

**Co-encadrement avec Maurice Bétemps, Professeur des Universités, INSA de Lyon**

*Co-encadrement 50%*

#### **b. Master Professionnel et stages de PFE en laboratoire : 2**

- Stage de **fin d'étude d'Ingénieur de Morten Bo NIELSEN** de l'Université Technologique du Danemark à Copenhague.

*The design of an Intelligent Colonoscope : ce travail consistait à réfléchir sur le modèle statique de notre outil de coloscopie – novembre 2000 à septembre 2001.*

**Co-encadrement avec Maurice Bétemps, Professeur des Universités, INSA de Lyon**

*Co-encadrement 50%*

- Stage de **Master ProM2 Ipro3 de Benjamin FRANCOZ et Sylvain LOUIS** – Laboratoire 3S, UJF, Grenoble.

*Conception d'une interface de fixation d'une orthèse sur un fauteuil roulant – octobre 2006 à février 2007*

*Encadrement 100%*

## VIII. Bibliographie

- Becker, H., "The role of gaming and simulation in scenario project". In: Operational gaming: an international approach. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Australia, 1983
- Bergman, Eric and Earl Johnson. "Towards Accessible Human-Computer Interaction". In Advances in Human-Computer Interaction, 1995, Vol 5, 87-113
- Blanning, R., "A decision support framework for scenario management". In: International symposium on decision support systems. Hong Kong, 1995, Vol 2, 657 – 660
- Bontemps, Y., Schobbens, P.-Y., "The computational complexity of scenario-based agent verification and design". Journal of Applied Logic, 2007, Vol 5(2), 252–276
- Brown, S., "Scenarios in system analysis". In: Systems analysis and policy planning: applications in defense. Elsevier, 1968, 298–390
- Caelen Jean, Jambon Francis, Vidal Audrey, "Conception participative : des Moments à leur instrumentation", Revue d'Interaction Homme-Machine, 2005, Vol 6(2)
- Carneiro, J.A.O., Santos-Pontelli, T.E.G., Colafêmina, J.F., Carneiro, A.A.O. and Ferriolli, E., "A pilot study on the evaluation of postural strategies in young and elderly subjects using a tridimensional electromagnetic system". Braz. J. Otorhinolaryngol. 2013, Vol 79(2), 219–225
- Carroll, J. M., "Scenario-based design: envisioning work and technology in system development". Wiley, New York. 1995
- Carroll, J. M., "Making Use: Scenario-Based Design of Human–Computer interactions". MIT Press, Cambridge, MA, 2000
- Clarkson, John. "Inclusive Design: Design for the Whole Population". Springer, 2003.
- Colle, Etienne, Stéphane Delarue, et Philippe Hoppenot. "Conception d'une aide technique complexe et innovante : Application au projet ARPH". Sciences et Technologies pour le Handicap, 2007, Vol 1(1), 71-94
- Cusin, F.S., Ganança, M.M., Ganança, F.F., Ganança, C.F. and Caovilla, H.H.,. "Balance Rehabilitation Unit (BRUTM) posturography in Menière's disease". Braz. J. Otorhinolaryngol. 2010, Vol 76, 611–617.
- Das, Anita, et Dag Svanæs. "Human-centred methods in the design of an e-health solution for patients undergoing weight loss treatment". International Journal of Medical Informatics, 2013, Vol 82(11), 1075-1091
- Diaper, D., "Scenarios and task analysis". Interacting with Computers. 2002, Vol 14(4), 379–395
- Erlandson, Robert F. "Universal and Accessible Design for Products, Services, and Processes". CRC Press, 2007, 286
- Findlater, Leah, Karyn Moffatt, Joanna McGrenere and Jessica Dawson. "Ephemeral Adaptation: The Use of Gradual Onset to Improve Menu Selection Performance". In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '09. USA, 2009, 1655-1664
- Fujimoto, C., Murofushi, T., Chihara, Y., Ushio, M., Sugawara, K., Yamaguchi, T., Yamasoba, T. and Iwasaki, S., "Assessment of diagnostic accuracy of foam posturography for peripheral vestibular disorders: Analysis of parameters related to visual and somatosensory dependence", Clin. Neurophysiol. 2009, Vol 120, 1408–1414

- ISO, "Ergonomics of human-system interaction: human-centered design for interactive systems: ISO 9241-210", AFNOR, 2010
- Jintae, K., Minseong, K., Sooyong, P., "Goal and scenario based domain requirements analysis environment". Elsevier Science Inc, 2006, Vol 79, 926–938
- Greenbraum, J., Kyng, M., "Design at Work: Cooperative Design of Computer System", Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1991
- Gaffney Gerry, "Participatory Design Workshop", Usability Techniques Series, Information&Design, 1999
- Gajos, Krzysztof Z., Daniel S. Weld and Jacob O. Wobbrock. "Automatically Generating Personalized User Interfaces with Supple". Artif. Intell, 2010, Vol 174(12-13), 910-950
- García, R.B., Corresa, S.P., Bertomeu, J.M.B. and Suárez-Varela, M.M.M., "Static posturography with dynamic tests. Usefulness of biomechanical parameters in assessing vestibular patients". Acta otorrinolaringológica española, 2012, Vol 63(5), 332–338
- Garcia, A.P., Ganança, M.M., Cusin, F.S., Tomaz, A., Ganança, F.F. and Caovilla, H.H., "Vestibular rehabilitation with virtual reality in Ménière's disease". Braz. J. Otorhinolaryngol. 2013, Vol 79(3), 366–374
- Golanski Caroline et Caelen Jean, "Test d'utilisabilité de l'agent conversationnel « Angela »", Actes du colloque WACA, juin 2005, Grenoble, 89-100
- Grudin, J., and Pruitt, J. "Personas, Participatory Design and Product Development: An Infrastructure for Engagement". Proceedings of the 7th Biennial Participatory Design Conference, June 23 - June 25, 2002, Malmö, Sweden, 144-161
- Gu, P. and S. Sosale. "Product modularization for life cycle engineering". Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 1999, Vol 15(5), 387-401
- Hamilton. "Barrier-Free Design Guideline". City of Hamilton, 2008
- Harmel, Ghassen. "Vers une conception conjointe des architectures du produit et de l'organisation du projet dans le cadre de l'Ingénierie Système". Thèse, Université de Franche-Comté, 2007
- Hashemian, Mehdi. "Design for adaptability". Thèse, University of Saskatchewan, 2005
- Hertzum, M., "Making use of scenarios: a field study of conceptual design". International Journal of Human-Computer Studies, 2003, Vol 58(2), 215–239
- Huang, Chun-Che and A. Kusiak. "Modularity in design of products and systems". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 1998, Vol 28(1), 66-77
- Hurst, Amy, Scott E. Hudson and Jennifer Mankoff. "Dynamic Detection of Novice vs. Skilled Use Without a Task Model". In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '07. USA, 2007, 271-280
- Jarke, M., Bui, X. T., Carroll, J. M., "Scenario management: An interdisciplinary approach". Requirements Engineering, 1998, Vol 3(3), 155 – 173
- Kane, Shaun K., Jacob O. Wobbrock and Ian E. Smith. "Getting off the Treadmill: Evaluating Walking User Interfaces for Mobile Devices in Public Spaces". In Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI '08. USA, 2008, 109-118

- Karmarkar Amol, Eliana Chavez and Rory A. Cooper. "Technology for Successful Aging and Disabilities". The Engineering Handbook of Smart Technology for Aging, Disability, and Independence, 2008, 27-48
- Kasarda, Mary E., Janis P. Terpenney, Dan Inman, Karl R. Precoda, John Jelesko, Asli Sahin and Jaeil Park. "Design for adaptability (DFAD)—a new concept for achieving sustainable design". Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007, Vol 23(6), 727-734
- Katz-Haas, R., "A summary of this article, Ten Guidelines for User-Centred Web design", Usability Interface July 1998, Vol 5(1)
- Keates, Simeon, P. John Clarkson, Lee-Anne Harrison, and Peter Robinson. "Towards a Practical Inclusive Design Approach". In Proceedings on the 2000 Conference on Universal Usability, CUU '00, USA, 2000, 45-52
- Kember, D., Kelly, M., Improving teaching through action research. In: Campbelltown, N.S.W.: Higher Education Research and Development Society of Australasia, 1993
- Kurakawa, K., "A scenario-driven conceptual design information model and its formation". Research in Engineering Design. 2004, Vol 15(2), 122–137
- Lange, Belinda, Sheryl Flynn, Rachel Proffitt, Chien-Yen Chang, and Albert "Skip" Rizzo. "Development of an Interactive Game-Based Rehabilitation Tool for Dynamic Balance Training". Topics in Stroke Rehabilitation, 2010, Vol 17(5), 345-352
- Lange, Belinda, Evan A. Suma, Brad Newman, Thai Phan, Chien-Yen Chang, Albert Rizzo and Mark Bolas. "Leveraging Unencumbered Full Body Control of Animated Virtual Characters for Game-Based Rehabilitation". In Virtual and Mixed Reality - Systems and Applications, Springer, 2011.
- LeRouge, Cynthia, Jiao Ma, Sweta Sneha, and Kristin Tolle. "User profiles and personas in the design and development of consumer health technologies". International Journal of Medical Informatics, 2013, Vol 82(11), 251-268
- Mace, Ronald L., Graeme J. Hardie, and Jaine P. Place. "Accessible Environments: Toward Universal Design". In Design Interventions: Toward A More Humane Architecture, edited by Preiser, Vischer, and White, 1991, 156
- McElligott, Joanne, and Lieselotte van Leeuwen. "Designing Sound Tools and Toys for Blind and Visually Impaired Children". In Proceedings of the 2004 Conference on Interaction Design and Children: Building a Community, IDC '04. USA, 2004, 65-72
- Mitrasinovic, Miodrag. "Universal Design". Design Dictionary, Board of International Research in Design, 2008, 419-422
- Muller, M.J. "Layered participatory analysis: New developments in the CARD Technique". Special Interest Group on Human-Computer Interaction (SIGCHI'10), March 31 - April 4, 2001, Seattle, WA, 90-97
- Pacharn, P., Zhang, L., "Accounting, innovation, and incentives". Journal of Engineering and Technology Management, 2006, Vol 23(1-2), 114–129
- Pahl, G., W. Beitz, and Ken Wallace. "Engineering Design: Systematic Approach". Springer-Verlag GmbH, 1996, 588.
- Plos, Ornella, Ameziane Aoussat, et Stéphanie Buisine. "Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche: application au marché du handicap moteur". THESE, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2011.



- Plos, Ornella, Stéphanie Buisine, Améziane Aoussat, Fabrice Mantelet and Claude Dumas. "A Universalist strategy for the design of Assistive Technology". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2012, Vol 42(6), 533-541
- Poirson, Emilie, Jean-François Petiot, and Joël Gilbert. "Integration of User Perceptions in the Design Process: Application to Musical Instrument Optimization". *Journal of Mechanical Design*, 2007, Vol 129(1), 1206-1214.
- Propp, V. Y., "Morphology of the folktale", University of Texas Tress, 1958
- Pruski, Alain, Yann Morere, O Horn, G Bourhis, R Grasse and M Sahnoun. "Approche centrée utilisateur pour la conception d'un fauteuil roulant intelligent". *Sciences et Technologies pour le Handicap*, 2007, Vol 1(1), 9-32
- Reswick, J. "What is rehabilitation engineering?". *Annual Review of Rehabilitation*, 1982, 2
- Robins, Ben, Ester Ferrari, Kerstin Dautenhahn, Gernot Kronreif, Barbara Prazak-Aram, Gert-Jan Gelderblom, Bernd Tanja, Francesca Caprino, Elena Laudanna, et Patrizia Marti. "Human-centred design methods: Developing scenarios for robot assisted play informed by user panels and field trials". *International Journal of Human-Computer Studies*, 2010, Vol 68(12), 873-898
- Ståhl, Agneta, and Monica Berntman. "Falls in the outdoor environment among older pedestrians – a tool to predict accessibility?". In *International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic Safety*, 2007.
- Stry, C. "The role of design and evaluation principles for user interfaces for all". In *Advances in human factors/ergonomics*, 1997, 477-480
- Swann, C., "Action research and the practice of design". *Design Issues*, Massachusetts Institute of Technology, 2002, Vol 18(1), 49-61
- Ulrich, Karl. "Fundamentals of Product Modularity". In *Management of Design*, Springer, 1994, 219-231
- Vanhooydonck, Dirk, Eric Demeester, Alexander Hüntemann, Johan Philips, Gerolf Vanacker, Hendrik Van Brussel, et Marnix Nuttin. "Adaptable navigational assistance for intelligent wheelchairs by means of an implicit personalized user model". *Robotics and Autonomous Systems*, 2010, Vol 58(8), 963-977
- Weidenhaupt, K., Pohl, K., Jarke, M., Haumer, P., "Scenario usage in software development: current practice". *IEEE Software*, March 1998, 34 – 45
- Wennberg, Hanna, Christer Hydén, and Agneta Ståhl. "Barrier-free outdoor environments: Older peoples' perceptions before and after implementation of legislative directives". *Transport Policy*, 2010, Vol 17(6), 464-474
- Wobbrock, Jacob O., Shaun K. Kane, Krzysztof Z. Gajos, Susumu Harada, and Jon Froehlich. "Ability-Based Design: Concept, Principles and Examples". *ACM Trans. Access. Comput*, 2011, Vol 3(3)
- Yin-Leng, T., Dion Hoe-Lian, G., Ee-Peng, L., Zehua, L., Ming, Y., Natalie Lee-San, P., Patricia Bao-Bao, W., "Applying scenario-based design and claims analysis to the design of a digital library of geography examination resources". *Pergamon Press, Inc.*, 2005, Vol 41, 23-40
- Young, R. M., Barnard, P., "The use of scenarios in human-computer interaction research: turbocharging the tortoise of cumulative science". *Proceedings of the SIGCHI/GI conference on Human factors in computing systems and graphics interface*. ACM, 1987, New York, NY, USA, 291-296



## Annexe 1 - CV court

**Guillaume THOMANN, Enseignant –Chercheur, marié, né le 19 novembre 1976, marié, 2 enfants**

**Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP, Ecole de Génie Industriel, 46 avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble Cedex1**

- 2000      Diplôme d'ingénieur : Ecole Supérieure des Sciences Appliquées pour l'Ingénieur de Mulhouse
- 2000      Master recherche en Automatique industrielle, Université de Haute Alsace, Mulhouse
- 2003      Diplôme de doctorat en Automatique industrielle, spécialité robotique, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA Lyon)
- 2003 – 04 Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche, INSA de Lyon, Laboratoire d'Automatique Industrielle (LAI, devenu Laboratoire Ampère)
- 2004 – 05 Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche, Université Evry Val d'Essonne, Laboratoire des Systèmes Complexes (LSC, devenu laboratoire IBISC)

### **Principales fonctions et responsabilités occupées**

- Membre élu du Conseil de Grenoble INP – Ecole de Génie Industriel (2009 – 2012)
- Membre élu du Conseil du laboratoire G-SCOP (2007 (création) – 2014)
- Grenoble INP – GI : aux relations internationales en charge des relations avec l'Amérique du sud, départs et arrivées des étudiants
- Responsable d'un programme BRAFITEC incluant les universités brésiliennes UNESP, UNICAMP, UFPB et françaises Grenoble INP, UTBM et Université de Lorraine (2010 à aujourd'hui)
- Responsable de plusieurs enseignements dans le département d'ingénierie du produit à Grenoble INP – Génie Industriel
- Membre du groupe de travail STIC-Santé national spécialité "Analyse, modèles et outils pour les handicaps : Approche pluridisciplinaire"
- Membre du Conseil d'Administration et animateur scientifique de l'Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Technique pour le Handicap (IFRATH)
- Chargé de mission handicap à Grenoble INP (depuis 2008) – membre et animateur de plusieurs conseils et groupes de travail

### **Travaux et publications**

- Co-encadrement de deux thèses de doctorat soutenues (Rahi Rasoulifar et Julien Veytizou), une non soutenue (Cécile Magnier) et deux en cours (Marcel de Gois Pinto et Justine Coton)
- Encadrement ou co-encadrement de 20 travaux de master recherche (ou assimilés), sur la conception de produits dans le domaine de la santé en général
- 9 publications dans des journaux ou ouvrages scientifiques internationaux
- 1 publication dans un journal scientifique national
- 2 brevets
- 41 communications conférences internationales à comité de lecture

- 20 communications conférences nationales à comité de lecture

### **Reconnaisances et Distinctions**

- Un des deux lauréats du Best Paper Award, Conférence internationale CIRP Design à Bochum en 2013

[CI 35] D. M. Phan Nguyen, J. Tonetti, **G. Thomann**, Virtual reality coupled with adapted physical interface for a better evaluation of the innovative surgical instrument, 23th CIRP Design Conference, Bochum, Germany, March 11 -13, **2013**

- Bénéficiaire de la «Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche» (PEDR) depuis 2012
- Prix de thèse 2014 par l'Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques (IFRATH) pour le travail de Doctorat de Julien Veytizou :

*Caractérisation des spécificités motrices d'utilisateurs en situation de handicap.  
Application à la conception de systèmes personnalisables pour la pratique musicale.*

**Thèse soutenue le 9 décembre 2014**

## Annexe 2 – Activité pédagogique CRR – Grenoble INP



Jacques Cordier / musiciens enseignant chargé de projets musique et handicap / Conservatoire de Grenoble

Option <b>MUSIQUE ET HANDICAP-AE2M</b> dans le cadre du <b>CEPI</b> au conservatoire de Grenoble pour l'année scolaire 2013 2014
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Les objectifs :

- permettre à des étudiants en CEPI d'aborder la question de la pratique musicale avec des personnes handicapées, et particulièrement celles souffrant de handicap moteur,
- les initier aux aspects scientifiques et techniques du projet AE2M (adaptation ergonomique du matériel musical).

Cette option comportera des temps de cours et de réflexion, des temps d'observation ainsi que des temps de pratique.

### Nombre d'élèves participants :

Un maximum de 4 élèves pourra s'inscrire à cette option.

### Organisation :

Cette option sera encadrée par un enseignant-chercheur de Grenoble INP (Guillaume Thomann<sup>8</sup> ou l'un de ses collègues) et moi. Différents temps de cours, d'observation et de pratique seront organisés durant l'année, avec tous les inscrits, individuellement ou en binômes.

Cette option représentera un temps total de 16,5 heures pour chaque élève de CEPI :

- 3h / une présentation du projet AE2M et un temps de réflexion sur la problématique « des instruments « naturels » aux instruments « technologiques » : pourquoi et comment adapter des instruments de musique pour la pratique musicale avec des personnes handicapées moteurs.
- 3h / Un cours autour de la problématique : « Pratiquer l'art de l'improvisation et avoir une culture musicale riche et éclectique : 2 atouts dans le cadre des pratiques musicales avec des personnes handicapées ». Ce cours sera également un temps de pratique de l'improvisation à l'instrument.
- 5h30 / Participation à des temps de travail d'élèves ingénieurs dans le cadre d'un sujet de recherche AE2M.
- 6h / Participation à des temps d'ateliers musicaux avec des personnes handicapées (enfants, adolescents ou adultes).

---

<sup>8</sup> Guillaume Thomann est enseignant-chercheur à l'**Institut polytechnique de Grenoble**. Il est associé à cette option en tant qu'intervenant et tuteur de groupes d'élèves ingénieurs travaillant dans le cadre du projet AE2M





## Résumé

Ce mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherche se veut être un résumé de mes activités professionnelles d'enseignements, de responsabilités administratives et de recherche scientifique

Les activités de recherche sur lesquelles porte mon travail sont orientées autour des méthodologies de conception de produits dans le domaine du handicap et de la santé en général. Les concepts théoriques tels que la Conception Centrée Utilisateur, la Conception basée sur les Scénarios, la Conception Participative et la Recherche Action constituent les éléments me permettant de construire mes expérimentations et générer mes concepts. Des développements de produits avec des thérapeutes et des praticiens hospitaliers sont présentés. Des conceptions et fabrications de produits avec des personnes en situation de handicap sont montrées. Ces expériences me permettent de proposer des méthodes de conception intégrant les spécificités des utilisateurs finaux dans le processus de conception.

Je montre dans ce document, la synergie existante entre mes activités enseignements – recherche – responsabilités administratives – associations citoyennes. L'importance de l'interdisciplinarité technosanté autour des utilisateurs finaux et mes implications permanentes sur le terrain avec tous les acteurs de la conception constituent l'essentiel de mes motivations en tant qu'acteur dans notre société.

## Abstract

My accreditation thesis to supervise research (HDR) is intended to summarize my professional teaching experience, administrative responsibilities as well as my scientific research.

My research focuses on design methodologies on products in the field of disability and health in general. Theoretical concepts such as User Centered Design, Scenario Based Design (design based on simulation methods), along with Participatory design and Action research provide the information enabling me to conduct experiments and create new concepts. New product developments are introduced in conjunction with therapists and hospital practitioners. By working with disabled people, who are the end-users, my experiments provide vision for new methods of design to integrate specific characteristics for them.

The following document shows the synergy existing between my professional activities and my involvement in civic associations. The importance of interdisciplinary health – technology around end-users and my permanent implications in real situations with the many stakeholders of the design process make up the core beliefs of my motivation as an actor in our society.